



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

“Estudio cualitativo de la termodinámica: una aproximación al concepto de entropía”

Paula Carolina Chaves Vallejo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Bogotá D.C., Colombia
2013

“Estudio cualitativo de la termodinámica: una aproximación al concepto de entropía”

Paula Carolina Chaves Vallejo

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Director:

Dr.Rer.Nat. José Daniel Muñoz Castaño

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Bogotá D.C., Colombia
2013

*Tomas Felipe y John Pablo, que los días que
deje ser mamá y esposa para ser maestra se
vean recompensados con sus tiernas sonrisas
y con la alegría de este pequeño triunfo.*

Agradecimientos

A Dios que me dio la ciencia y la sabiduría que iluminaron mi mente para desconocer un poco menos el universo.

A mi madre y a mis hermanas que con su apoyo, comprensión y compañía facilitaron mi labor como estudiante y como maestra.

A mis estudiantes de grado decimo del colegio Fernando Mazuera Villegas de la jornada tarde quienes se comprometieron y se gozaron este proyecto.

A mi director José Daniel Muñoz quien a pesar de su profundo y extenso conocimiento de la física no deja de asombrar con la simplicidad y contundencia de sus explicaciones.

Resumen

La enseñanza de la termodinámica en la educación media presenta retos importantes por la dificultad para apropiar conceptos abstractos como temperatura, calor, trabajo, energía interna y entropía, que pueden resultar más concretos desde la perspectiva del modelo cinético-molecular. Este trabajo propone una secuencia didáctica para posibilitar la construcción cualitativa de estos conceptos a partir del modelo cinético-molecular. Para ello, se apoya en simulaciones, videos y experimentos demostrativos que dan realidad y significado a los conceptos abstractos de la termodinámica. La secuencia consta de siete guías agrupadas en dos etapas principales: una para modelos moleculares, temperatura, presión y gases ideales, y otra para los conceptos de trabajo, energía, calor y entropía. La propuesta se implementó con estudiantes de grado decimo del colegio Técnico Fernando Mazuera Villegas J.T. en la localidad de Bosa al sur-oriente de Bogotá, en un diseño pre-experimental con dos pre-test y dos pos-test para las dos etapas. Los resultados muestran un alto nivel de aprendizaje, dado que existe una diferencia estadísticamente muy significativa entre los resultados de los pre-test y post-test y un aumento notable en los puntajes obtenidos por los estudiantes. La implementación de la secuencia didáctica favoreció la construcción cualitativa de los conceptos, el desarrollo de una intuición correcta de los fenómenos, el desarrollo de actitudes e imágenes positivas hacia la física y la motivación hacia las actividades propuestas, en las que los actores principales fueron los estudiantes, mientras el docente se desempeña como facilitador de estos aprendizajes. Esta propuesta didáctica constituye, por lo tanto, una propuesta valiosa para la enseñanza de la termodinámica en la educación media.

Palabras clave: modelo molecular, entropía, enseñanza.

Abstract

Teaching thermodynamics in high school faces big challenges, because of the difficulty to addressing abstract concepts like temperature, heat, work, internal energy and entropy, which may become more concrete from the point of view of the kinetic-molecular model of gases. This work introduces a didactic sequence for the qualitative construction of these concepts from that point of view. For this purpose, the didactic sequence includes simulation applets and experiments in class that enrich with reality and significance the abstract concepts of thermodynamics. The sequence includes seven sets of activities, organized into two stages: a first one for molecules, temperature, pressure and ideal gasses, and a second one for work, energy, heat and entropy. The proposal was implemented with 10th graders of the *Fernando Mazuera Villegas J.T.* school in Bosa, in Bogota (Colombia), by following a pre-experimental design with two pre- and post-test, one for each stage. The statistical analysis show a high level of learning, with a significative difference between pre- and post-tests for both stages, and a notable high scores in both post-tests. The didactic sequence favored the qualitative construction of the concepts, the development of a right intuition and the emergence of positive attitudes toward Physics, plus a strong motivation for the proposed activities, where the main role was assumed by the students themselves. This didactic proposal constitutes, therefore, a valuable contribution for the teaching of thermodynamics at high-school level.

Key words: molecular model, entropy, teaching.

Contenido

RESUMEN	V
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABLAS	IX
INTRODUCCIÓN	1
1. REFERENTES CONCEPTUALES	4
1.1. Aspectos históricos sobre el concepto de calor	4
1.1.1 El concepto de calor en la antigüedad	
1.1.2. Teorías de calor en la alquimia y el renacimiento	5
1.1.3. El calor de Black y Carnot	6
1.1.4. Primera Ley: Calor, Trabajo y Energía	7
1.1.5. Segunda Ley: La entropía de Clausius	8
1.1.6. Entropía de la mecánica estadística	9
1.2. Aspectos disciplinares	9
1.2.1. Estados de la materia, temperatura y presión	9
1.2.2. Gases ideales	11
1.2.3. Energía interna, trabajo y calor	12
1.2.4. Variación de entropía y ciclo de Carnot	15
1.2.5. Entropía de la mecánica estadística	16
1.3. Aspectos didácticos	18
1.3.1. Los estándares básicos del MEN	18
1.3.2. Los libros de texto y la enseñanza de la termodinámica	19
1.3.3. Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de la termodinámica	20
2. DISEÑO DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA	
2.1. Generalidades de la propuesta	23
2.2. Momentos de la secuencia didáctica	23
2.2.1. Momento 1: modelo cinético, temperatura y presión	24

2.2.2. Momento 2: gases ideales	26
2.2.3. Momento 3: Trabajo, energía interna y calor	27
2.2.4. Momento 4: Entropía	29
3. APLICACIÓN DE LA PROPUESTAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	31
3.1. El grupo de trabajo	31
3.2. Análisis cualitativo de trabajo en aula	33
3.3. Instrumento de medición pre y pos test	35
3.4. Análisis cuantitativo del trabajo en el aula	35
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
A. Anexo: Prueba 1	42
B. Anexo: Prueba 2	48
C. Anexo: Unidad didáctica para momento 1	53
D. Anexo: Unidad didáctica para momento 2	64
E. Anexo: Unidad didáctica para momento 3	74
F. Anexo: Unidad didáctica para momento 4	88
G. Anexo: Puntajes prueba 1	96
H. Anexo: Puntajes prueba 2	97
Bibliografía	98

Lista de figuras

Fig. 1.1. Modelo de mundo con los 4 elementos	4
Fig. 1.2. Calorímetro de Lavoisier y Laplace	6
Fig. 1.3. Ciclo de Carnot	7
Fig.1.4. Experimento de Joule	8
Fig.1.5. Espacio de fase	9
Fig.1.6. Movimiento browniano	10
Fig.1.7. Imagen molecular	10
Fig.1.8. Distribución de Maxwell-Boltzmann	11
Fig.1.9. Presión microscópica	11
Fig. 1.10. Motor de miosina	13
Fig.1.11. Proceso isobárico	14
Fig.1.12. Proceso isotérmico	14
Fig. 1.13. Proceso isométrico	14
Fig. 1.14. Ciclo Stirling	15
Fig. 1.15. Proceso adiabático	15
Fig. 1.16. Espacio de fase de momentums	17
Fig 3.1. Diagrama de caja y bigotes para las pruebas pre y post	36
Fig. 3.2. Graficas de puntajes para las pruebas 1 y 2	36

Lista de tablas

Tabla.1.1. Estándares de termodinámica	18
Tabla. 1.2. Física de Serway	19
Tabla. 1.3. Física conceptual de P. Hewitt	20
Tabla. 1.4. Física de M. Valero	20
Tabla 2.1. Guía 1 Modelo cinético-molecular	24
Tabla. 2.2. Guía 2. Presión	25
Tabla. 2.3. Guía 3. Temperatura	25
Tabla. 2.4. Guía 4. Gases ideales	26
Tabla. 2.5. Guía 5. Trabajo y energía	27
Tabla. 2.6. Guía 6. Calor	28
Tabla.2.7. Guía 7. Entropía	29
Tabla.3.1. Análisis cualitativo: momento 1	33
Tabla.3.2. Análisis cualitativo: momento 2	33
Tabla.3.3. Análisis cualitativo: momento 3	34
Tabla.3.4. Análisis cualitativo: momento 4	34
Tabla.3.5. Sub-escalas para las pruebas 1 y 2	35
Tabla. 3.6. Estadísticos descriptivos para totales	36
Tabla.3.7. Prueba de normalidad para totales	36
Tabla.3.8. Prueba Wilcoxon para totales	37
Tabla.3.9. Prueba Spearman para totales	37
Tabla. 3.10. Estadísticos descriptivos para sub-escalas	37
Tabla.3.11. Prueba de normalidad para sub-escalas	38
Tabla.3.12. Prueba Wilcoxon para sub-escalas	38
Tabla.3.13. Prueba Spearman para sub-escalas	39
Tabla.3.14. Prueba de fiabilidad	39

INTRODUCCIÓN

La termodinámica es la ciencia que describe las ideas de temperatura y conducción de calor, y los procesos de expansión y compresión de gases que son parte importante de nuestra vida diaria. Las preguntas de por qué las cosas calientes se enfrían y las frías se calientan, de por qué los techos altos hacen que las habitaciones sean más frescas, de si existe un límite de temperatura más alta o más baja e incluso cómo funcionan las neveras, las calderas y los motores de combustión hallan su explicación en la termodinámica. Sin embargo, su enseñanza afronta grandes retos. Debido a que históricamente la termodinámica se desarrolló a través de leyes empíricas, resultado de minuciosos experimentos realizados durante aproximadamente dos siglos, y al devenir de diversas y contradictorias corrientes filosóficas y modelos de mundo, la historia del calor está llena de caminos y conceptos infructuosos, que con mucha frecuencia se observan también en los estudiantes. No es extraño identificar, por ejemplo, errores conceptuales como la confusión entre calor y temperatura, o en la misma definición de calor, que hacen infructuoso cualquier intento de aplicación diferente a la mecanización de leyes cuantitativas para el análisis de ciclos térmicos, que es por otra parte el tema preferido de los libros de texto. En la educación resulta impactante ver que se ha dejado de presentar un estudio conceptual y cualitativo de la física térmica, reduciéndola a un conjunto de ecuaciones que carecen de significado y no aportan a la comprensión de los fenómenos térmicos, ni siquiera en su escala más simple. La imagen cinético-molecular se suele presentar solamente para describir los conceptos de temperatura y presión, desligándola de otros igualmente importantes, como trabajo, energía interna y calor, donde esta imagen favorece la comprensión intuitiva de los conceptos. También resulta cuestionable el hecho de que, pese a que los trabajos de corte epistemológico han mostrado a la entropía como un concepto fundamental de la termodinámica, en la educación media y media técnica se sigue impartiendo esta ciencia sin hacer por lo menos mención de este concepto tan determinante para la comprensión del funcionamiento de las máquinas térmicas.

Entre los numerosos trabajos que se han desarrollado sobre la enseñanza de la termodinámica se destacan recientemente (entre 1911 y 1996) los de H. L. Callendar (Inglaterra), Georg Job (Alemania) y Hans Fuchs. Estos trabajos se enfocan a la enseñanza de la entropía como el concepto intuitivo de calor, para luego abordar los fundamentos de la termodinámica desde el punto de vista de la física del continuo, donde la entropía es la base de una teoría dinámica del calor, pero evitan la descripción de los conceptos a nivel molecular, con lo que su comprensión se mantiene aún un poco abstracta. Con base en estas propuestas, se han diseñado situaciones didácticas que facilitan la transformación del concepto intuitivo de calor en el moderno concepto de entropía, pero sin profundizar en el aspecto molecular como la de F. Herrmann, 2010. Otros trabajos, por ejemplo el de Nydia del Carmen Casares, 2011, sugieren la presentación de la imagen cinética-molecular como la base de la comprensión intuitiva de los conceptos termodinámicos. En la literatura se encuentran trabajos de investigación donde se aborda la termodinámica desde un enfoque cualitativo, como los de Camelo, F, y Rodríguez, S., 2007, que destacan trabajos de enfoque histórico-epistemológico donde se retoman las antiguas teorías del

calor para conceptualizar sobre éste, encontrando que el acercamiento de estudiantes y docentes a textos científicos originales facilita la construcción conceptual como lo muestran L. Escobar, Y. González y C. Gutierrez, en su trabajo *enseñanza de los conceptos de calor y temperatura enmarcada en la teoría del cambio conceptual* presentada en 2008. Trabajos como el de G. Dumrauf y S. Cordero (2004), enfocados a la discusión mayéutica como interacción discursiva entre conocimiento, estudiante y docente, acerca de conceptos fundamentales de la termodinámica como temperatura y calor sugieren que la discusión juega un papel determinante en la construcción de imágenes cercanas a las de la ciencia. Finalmente se han desarrollado trabajos, orientados a analizar el impacto y pertinencia de las Tics en la enseñanza de la física térmica, por ejemplo el de Sauli Puukari, 2003 reportan en estudios experimentales que efectivamente esta estrategia facilita la comprensión de los conceptos termodinámicos, utilizando para ello la combinación de herramientas TIC con experimentos en clase.

El objetivo de este trabajo es construir una secuencia didáctica que posibilite la construcción cualitativa de los conceptos de temperatura, presión, trabajo, energía, calor y entropía desde el modelo cinético-molecular y que sea adecuado para estudiantes de grado décimo. Se busca construir el conocimiento de manera escalonada, introduciendo uno a uno estos conceptos, desde los más concretos hacia los más abstractos. En esta propuesta hemos optado por la descripción cinética-molecular (en especial de los gases ideales), pues ésta posibilita hacer concretos los conceptos abstractos de la termodinámica y el desarrollo de una imagen mental y una intuición correctas de los procesos térmicos en los estudiantes. Se plantea así, un modelo alternativo para la enseñanza de la física térmica sobre la base de una imagen molecular que se espera facilite la comprensión de sus conceptos, incluso el de la entropía. Para lograr este objetivo es determinante construir estrategias de enseñanza que privilegien la comprensión cualitativa de los fenómenos, mediante el uso de ayudas didácticas como experimentos demostrativos, que evidencien la existencia de moléculas (por ejemplo experimentos de movimiento browniano y cristalización) y otros que modelen las leyes de los gases ideales (como la construcción de termómetros caseros de gas y montajes de las leyes de los gases ideales). Los videos de experimentos realizados por otros estudiantes y cortos de películas animadas de ciencia resultan herramientas poderosas para motivar a los estudiantes a hacer sus propios experimentos. La simulación *Gasproperties* de la universidad de Colorado y los *applets* de los procesos termodinámicos, el ciclo Stirling y el ciclo de Carnot se constituyen en una herramienta facilitadora del comportamiento molecular de los gases y por tanto en un potenciador de ideas más cercanas al concepto de entropía. En todo momento de la secuencia didáctica se requiere el uso de lenguaje cotidiano y fácil de entender para los estudiantes, sin dejar de lado el lenguaje científico para describir o bautizar un fenómeno. Por este camino se evita caer en una enseñanza basada en definiciones, poco significativas para los estudiantes, o en ecuaciones que buscan ejercitar el desarrollo de operaciones algebraicas y de cálculo numérico sin profundizar en la comprensión.

La propuesta didáctica consta de dos partes: una en la que se indagan los conceptos de temperatura, presión y el tema de gases ideales, y otra donde se incluyen los conceptos de trabajo, energía interna, calor y entropía. Para esto se diseñaron siete guías didácticas que incluyen los elementos mencionados anteriormente. La propuesta así diseñada se implementó con un grupo de 30 estudiantes del colegio Fernando Mazuera Villegas J.T., en un diseño pre experimental con pre-test y post-test aplicado en las dos etapas descritas, con dos test de selección múltiple diseñados para este fin. El análisis estadístico de los resultados muestra una mejora significativa en los puntajes obtenidos por los estudiantes en los post-test de ambas

pruebas, con medias altas y desviaciones estándar relativamente bajas. Durante la implementación, se evidenció, además, cómo el uso de simuladores combinados con experimentos facilitó la construcción de una imagen molecular correcta de los conceptos. También se evidenció que tener claro el concepto de trabajo, a nivel de las moléculas, permite comprender sin dificultad los conceptos de calor, trabajo y energía interna. Finalmente, la entropía como desinformación fue algo muy fácil de apropiarse para los estudiantes en la discusión en clase, al tener un modelo molecular correcto de los estados de la materia. Todo esto nos lleva a concluir que efectivamente la propuesta didáctica posibilitó que los estudiantes aprendieran los temas de termodinámica abordados con las metodologías propuestas.

El presente trabajo se estructura en cuatro capítulos. En el primer capítulo se plantean referentes teóricos donde se abordan aspectos epistemológicos como la historia de los conceptos de temperatura, calor y entropía; Aspectos disciplinares como el Modelo cinético Molecular, Temperatura, Presión y Gases Ideales para introducir la Ecuación de Estado, conceptos de Energía interna, Trabajo y Calor a nivel macroscópico y a nivel molecular. Finalmente se aborda Entropía como desinformación en el volumen del espacio de fase y Variación de la entropía y su relación con el calor; en el Aspecto Didáctico se exponen los trabajos desarrollados por otros autores en la enseñanza de estos conceptos, mostrando sus ventajas y desventajas. En el capítulo 2 se presenta la Propuesta didáctica haciendo una descripción general de los principios orientadores, las etapas, la metodología y las ayudas didácticas que ilustran el estilo trabajado. En el capítulo 3 se describen los detalles de la Aplicación y se analizan los Resultados cualitativamente, mostrando los aciertos y dificultades evidenciadas, en cuanto al análisis cualitativo se aplica estadística no paramétrica para su obtención. Como capítulo final están las Conclusiones y Recomendaciones, donde se describen de manera sucinta el alcance logrado con este trabajo y los aspectos que podrían profundizarse o abarcarse a futuro partiendo de resultados tan satisfactorios, como la diferencia estadísticamente significativa encontrada entre los pre-test y post-test.

1. REFERENTES CONCEPTUALES

1.1 Aspectos históricos sobre el concepto de calor

1.1.1. El concepto de calor en la Antigüedad

Los antiguos griegos, para explicar los fenómenos naturales que sucedían a su alrededor, acudían al sentido común, a la observación y a la discusión filosófica con el objeto de establecer hipótesis cualitativas que brindaran una descripción satisfactoria de lo observado y que permitieran establecer sus posibles causas. En aquella época ya se conocían fenómenos térmicos en general asociados al fuego, como la combustión, la generación de la llama, la rarefacción de aire alrededor de las fogatas, la condensación de sustancias por acción del calor, entre otros. Uno de los primeros filósofos en proponer explicaciones a estos fenómenos fue Heráclito (540a.C.-475 a.C.), quien considero que el fuego era el origen de la materia, la cual se transformaba a través de condensaciones y rarefacciones para dar origen a los demás elementos y a los fenómenos del mundo sensible descritos. Posteriormente, Empédocles propuso que todo estaba formado por cuatro elementos: tierra, agua, fuego y aire, que regían el orden del universo conocido¹.

Más adelante, Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), para quien todo fenómeno es movimiento, retoma la teoría de los cuatro elementos, en su libro Física, para establecer que la causa de todo fenómeno térmico es el movimiento de alguno de los cuatro elementos hacia su lugar natural. Así, por ejemplo, las rarefacciones en el aire circundante al fuego se explican porque el lugar natural del fuego es arriba, de manera que para subir desplaza al aire que está sobre él. Sin embargo, como el lugar del aire es más alto que el del fuego, este volvería a subir, creando así movimientos sucesivos o rarefacciones. Adicionalmente, Aristóteles complementa el modelo de esferas del mundo conocido adicionando el orden de los cuatro elementos bajo la esfera lunar, en donde el fuego ocupa un lugar importante.

Fig.1.1 Modelo de mundo con los cuatro elementos.²



Para consolidar sus explicaciones, los aristotélicos llegaron a considerar que existían dos agentes transformadores de los cuatro elementos. Estos son: la acción del calor, y su contrario, el frío; y la

¹ Para este entonces la observación del cielo se realizaba a ojo, de manera que el universo conocido era la Tierra, Venus, Marte, la luna y el sol.

² El Cielo, obra contenida en la Opera de Aristóteles, incunable impreso en Venecia en 1482.

acción de lo seco, y su opuesto, la humedad. De esta manera toda materia en la naturaleza es producto del efecto de calor y sequedad o sus contrarios en alguno de los cuatro elementos. Con la consolidación de la filosofía aristotélica se logró la comprensión de fenómenos como la dilatación de sólidos y líquidos, o la expansión térmica del aire y el vapor. Así, durante los siguientes veinte siglos se llegó a pensar en el calor y el frío como propiedades de los cuerpos.

1.1.2 Teorías del calor en la alquimia y el renacimiento

A partir del renacimiento, la imagen imperante para el calor era el de una sustancia que fluía de los cuerpos calientes a los cuerpos fríos. La primera de esas sustancias, el *alcahesta*, fue propuesta por Von Helmont como una sustancia no corpórea, que se suponía presente en los elementos y materiales gaseosos y era capaz de transformar su naturaleza en los procesos térmicos. Sin embargo, esta idea fue sustituida rápidamente por la teoría del *flogisto*, sustancia de naturaleza similar. El flogisto se consideró una sustancia etérea que se desprendía de los cuerpos al hacer combustión, de manera que los objetos podían generar una llama en la medida que tuvieran flogisto. A mayor cantidad de flogisto, más calor puede desprender, y cuando se agote el flogisto, el cuerpo deja de emitir calor y no arde más. Otra de las características del flogisto es que, a pesar de no ser tangible, tenía materia, de manera que si un cuerpo perdía flogisto no sólo se oxidaba por la reacción química, sino que además disminuía su peso. Esta explicación fue rebatida con experimentos como el realizado por en 1773 A. Lavoisier, quien demostró que al calentar mercurio en un recipiente hermético se obtienen vapores de diferente composición química como oxígeno, óxido de mercurio y nitrógeno, pero que en conjunto conservan la masa inicial, sin que se presente la pérdida de masa predicha por la teoría del flogisto.

Aunque ya en 1660 Robert Boyle (a partir de una cuidadosa serie de experimentos diseñados inicialmente para identificar la sustancia responsable del frío) había identificado el calor como el movimiento de las partículas que conformaban el material, Lavoisier no siguió esta ruta, sino que propuso a su vez la existencia de un fluido con características similares a las del flogisto, con la única diferencia de que no estaba dotado de masa, para no ir así en contra de sus propios resultados experimentales. La nueva sustancia que explicaría la transmisión de calor por calentamiento o por fricción era el *calórico*, que se suponía contenido en pequeños paquetes dentro de los cuerpos, y capaz de salir de ellos cuando los paquetes se rompían por acción del calor o de la frotación. Las propiedades del calórico permitieron explicar una amplia gama de fenómenos y resultados experimentales, e imperó hasta mediados del siglo XIX, pero al igual que las sustancias anteriores entraba en contradicción con las ideas atomistas desarrolladas desde la antigüedad, en las que el calor podía llegar a ser pensado como movimiento de partículas. Otra dificultad conceptual de la época consintió en que hasta aquí los términos calor y temperatura no habían suscitado el interés de nadie y mucho menos llamaba la atención el hecho de que ambos términos se emplearan indistintamente.

1.1.3 El calor de Joseph Black y Carnot

Hacia 1761, Joseph Black, científico escocés, se interesó por comprender los efectos del calor en la fusión y evaporación del agua. Encontró que mientras el hielo se fundía la temperatura no variaba, y que pasaba lo mismo cuando el agua líquida pasaba a estado gaseoso. Mediante este y otros experimentos, Black fue el primer científico en hacer una diferenciación entre calor y temperatura, al establecer que el calor fluye de los cuerpos con mayor temperatura hacia los de menor temperatura. Sus planteamientos los expuso en sus "*Conferencias acerca de los elementos de la química*", en las que se dedicó a mostrar cómo partiendo del sentido común es posible comprender el concepto de calor. En una de sus conferencias acerca del calor, postula:

*"Salta a la vista, pues, que el hielo, al derretirse, recibe calor con mucha celeridad; pero el único efecto de dicho calor es mudarlo en agua; la cual no es sensiblemente más caliente de lo que antes lo era el hielo [...] Por lo tanto, una gran porción del calor o de la materia del calor que entre en el hielo que se derrite no produce otro efecto que el darle fluidez, sin aumentar su calor sensible; al parecer, se absorbe y esconde dentro del agua, de modo que no es posible descubrirlo aplicando el termómetro [...]. Aunque sin la ayuda de termómetros, podemos notar la tendencia del calor en difundirse de algún cuerpo caliente hacia un cuerpo más frío, próximo a él, hasta distribuirse entre ellos de tal forma que ninguno puede sacar más calor del otro. [...]"*³

Este texto muestra cómo el calor para Black es un flujo que sale de la sustancia a mayor temperatura a la de menor temperatura, hasta que se establece un equilibrio térmico punto en que el calor deja de fluir. Black consideró correctamente que en los cambios de fase el flujo de calor se invierten únicamente en transformar la sustancia, pero no en cambiar su temperatura. Este calor es absorbido y pasa a formar parte de la estructura del cuerpo como tal. Tan pronto como la sustancia cambia de estado el calor produce cambios en la temperatura. Al contrastar este fenómeno en el agua y en iguales cantidades de otras sustancias, encontró que los cambios de temperatura son diferentes para cada sustancia, aunque se les suministre la misma cantidad de calor. Además, logró medir cuántas calorías por unidad de masa de sustancia se necesitan para producir un cambio de estado: el denominado calor latente de fusión y ebullición. El calor de Black se medía en calorías, ya que para en este tiempo no se había encontrado relación entre energía y calor. Sus ideas fueron confirmadas a la larga con el empleo del calorímetro diseñado por los franceses Lavoisier y Laplace en 1780. Este mide el calor cedido por un cuerpo a una masa de agua y hielo a 0 °C como la cantidad de gotas de agua procedentes del hielo que dicho calor logra derretir.

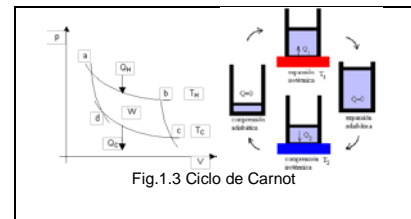


Mientras los científicos se ocupaban en comprender el concepto de calor, los ingenieros de finales de 1700 se empeñaban en lograr diseños eficientes de una nueva máquina que funcionaba con el calor emitido por el vapor de agua procedente de una caldera: la conocida máquina de vapor, que revolucionaría el mundo industrial de la época al reemplazar procesos manuales por manufacturados. Pese al gran desarrollo de estas máquinas de vapor, los problemas técnicos en cuanto a su funcionamiento llamaron la atención de los científicos y de los apasionados por las ciencias. Uno de los primeros científicos que logra una explicación sobre el funcionamiento de las máquinas de vapor fue Sadi Carnot, quien en 1822 – a sus 23 años – propuso un modelo análogo al de un molino de agua para mostrar cómo funciona la máquina de vapor. En este modelo Carnot asume el concepto de calor como el flujo propuesto por Black, valiéndose de una analogía

³ Extraído de <http://almagestoudea.files.wordpress.com/2008/07/historia-y-epistemologia.pdf>

entre el molino de agua (donde el flujo de agua es constante) y la máquina de vapor (donde el flujo de calor también lo es). El papel de la diferencia de alturas que pone en funcionamiento el molino es asumido en la máquina térmica por la diferencia de temperaturas. En ambos casos la dirección del flujo es del lugar con mayor cantidad al de menor cantidad. En consecuencia, si se quiere construir un proceso en que el calor fluya del lugar frío al caliente, se necesitaría hacer trabajo sobre la máquina para poder invertir el ciclo. Para Carnot, una máquina térmica ideal funciona en un ciclo donde el calor fluye espontáneamente de la temperatura alta a la baja, y como resultado es capaz de transformar gran parte del calor suministrado en trabajo. En las máquinas térmicas reales de la época la eficiencia era muy baja: la parte de la energía suministrada que se transforma en trabajo era menor al 10%, pero las mejoras tecnológicas actuales la han aumentado hasta un 40%.

La máquina propuesta por Carnot como referencia trabaja con un gas ideal confinado dentro de un cilindro. El gas experimenta dos procesos adiabáticos, donde se aísla térmicamente para impedir el intercambio de calor desde o hacia el exterior, y dos isotérmicos, que impiden que su temperatura cambie. Más adelante, con la invención de los diagramas de Clapeyron, se logró tener una representación gráfica más formal del ciclo dibujando la presión en función del volumen.

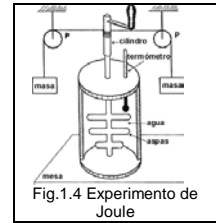


La explicación dada por Carnot a la máquina térmica fue aceptada por la sociedad científica de siglo XIX a medida que se difundía la idea del calor como un flujo originado por diferencia de temperaturas, lo cual ya había dicho Black. Sin embargo, esta vez ese conocimiento se logró aplicar exitosamente para explicar el funcionamiento de la máquina de vapor, y ayudó a su aceptación.

1.1.4 Primera ley: calor, trabajo y energía

De manera independiente, al no pertenecer a la sociedad científica, el británico J. Joule se sintió atraído por los fenómenos de generación de calor. Así, inicia en 1841 una serie de estudios sobre los motores eléctricos, basado en los hallazgos de M. Faraday. Joule observó que al hacer pasar corriente por alambres conductores, éstos y la batería se calientan de acuerdo con la intensidad de la corriente que circula, el diámetro y el material de los alambres, y especuló que esa podía ser la causa del bajo rendimiento del motor eléctrico. Hacia la década del 50 abandona sus estudios sobre las máquinas eléctricas por el análisis de la máquina de vapor, en auge entonces, y nota una interesante relación entre estas máquinas: mientras la eléctrica transforma parte de la energía eléctrica en calor, la térmica transforma parte de la energía calórica en trabajo. Inspirado en esta idea, retoma los estudios del conde Rumford acerca de la generación de calor mediante fricción entre dos materiales, y concluye que, debido a que los cuerpos están formados de partículas, al hacer fricción éstas se excitan y se mueven más rápido, generando de esta manera calor.

Posteriormente, a partir de la idea de calor como movimiento de partículas y los resultados de sus experimentos con electricidad, se propuso demostrar que el calor puede ser generado a través de trabajo mecánico, lo que lo lleva a diseñar su famoso experimento del equivalente mecánico del calor. En su experimento, el agua contenida en un recipiente es agitada con una paleta accionada por la caída de un bloque de masa conocida desde una altura determinada. Joule logra medir el trabajo realizado por las paletas como igual a la variación de la energía



potencial del bloque durante la caída, trabajo que además se manifiesta como calor, puesto que incrementa la temperatura del agua. Debido a que los incrementos de temperatura eran muy pequeños, Joule, en compañía de su amigo W. Thompson, tuvo que diseñar termómetros de gas más sensibles que los termómetros de mercurio y alcohol de la época. Con estos termómetros no sólo lograron medir variaciones de temperatura entre $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, sino que además mostraron que el paso del gas de un tubo a una tobera hace que éste se enfríe, pudiendo incluso pasar al estado líquido. Este fenómeno se conoce en la actualidad como expansión libre y se explica mediante el denominado Efecto Joule- Thompson. Los experimentos de Joule son prueba de que el calor es una forma de trabajo oculto que genera movimiento en las partículas de los cuerpos, y no un flujo o fluido como lo consideraron Black y Carnot. El resultado cualitativo más importante es la equivalencia entre calor, que se medía en calorías, y la energía, medida en Joules: $1\text{ caloría} = 4.186\text{ Joule}$.

Entrada la última década del siglo XIX, el físico alemán Helmholtz trabajaba en encontrar un principio de conservación análogo al antiguo principio de conservación de la masa demostrado por Lavoisier. Al conocer de la equivalencia entre calor y energía mecánica de Joule, Helmholtz comprende que la cantidad de energía que entra como calor en la vieja máquina térmica de Carnot se transforma en energía interna y en trabajo que sale de la máquina. Es decir, que la energía se conserva. De esta manera logra establecer el principio de conservación que estaba buscando: la energía se puede transformar pero no puede ser creada o destruida, es constante. A este enunciado se le conoce como principio de conservación de la energía, y aunque su descubrimiento se atribuye a varios personajes, no cabe duda que W. Thompson y Helmholtz hicieron el mayor aporte a este postulado.

1.1.5 Segunda ley: La entropía de Clausius

Hacia 1850, misma época que Helmholtz propone el principio de conservación de la energía, R. Clausius quien viene estudiando con detalle la teoría cinética de los gases, en busca de explicar el funcionamiento de la máquina de Carnot, se cuestiona por hecho de que una magnitud como la energía permanezca constante durante los procesos térmicos cuando es sabido que una parte de la energía calórica no hace trabajo. Muestra que la cantidad de energía aparentemente desperdiciada también realiza trabajo sin embargo la hace contra las moléculas del gas y no contra una presión externa, en cuyo caso el trabajo realizado es visible porque se obtiene energía mecánica. Para Clausius esa energía encargada de hacer trabajo no visible corresponde a una nueva magnitud, la entropía, una variable de estado que depende de las moléculas y cuyas variaciones se pueden medir mediante el cociente entre el calor y la temperatura a la que fluye.

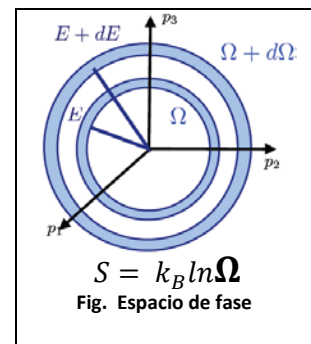
Esta relación la dedujo a partir de las ideas cualitativas de Carnot y fue capaz de expresarla mediante cálculo en lo que se conoce como la desigualdad de Calusius. Cuando la variación de entropía es menor que cero se entiende que no es posible crear una maquina que opere en un ciclo cerrado solamente para convertir en trabajo el calor que absorbe del depósito a temperatura alta. Cuando esta variación de entropía sea igual a cero tenemos una maquina ideal. En consecuencia mientras la energía del universo es constante la entropía está en aumento.

$$\oint \frac{dQ_s}{T} \leq 0$$

Desigualdad de Clausius

1.1.6 Entropía de la mecánica estadística

Los modelos estadísticos de la termodinámica comienzan firmemente en el siglo XVIII con los trabajos de Daniel Bernoulli, en lo que se conoce como teoría cinética de los gases, y se profundiza especialmente con los trabajos de James-Clerk Maxwell y Ludwig Boltzmann en *mecánica estadística*. El objetivo de la teoría cinética de los gases era expresar cantidades macroscópicas en función de las variables mecánicas de las moléculas que la componen. Por ejemplo: la temperatura se identifica proporcional a la magnitud promedio de la velocidad de las moléculas del gas, y la presión, con la fuerza promedio producida por las colisiones de las moléculas con las paredes que contienen al gas. El calor resulta ser el trabajo promedio que ejecutan las paredes, al vibrar, sobre las moléculas del gas. La mecánica estadística va mucho más allá, pues permite derivar – a partir de primeros principios – las ecuaciones de estado a partir de identificar la entropía de la termodinámica con el logaritmo del volumen del espacio de fase accesible al sistema. Esta identificación, que fue exitosa por primera vez para derivar las ecuaciones del gas ideal, ha mostrado ser igualmente exitosa para multitud de sistemas, incluyendo líquidos, coloides, e, incluso, medios granulares, y es la base para explicar otros fenómenos, como transiciones de fase y procesos de transporte, por citar solo algunos, que han sido centrales en el desarrollo de la mecánica estadística del último siglo. De hecho, tal identificación se tiene como uno de los principios fundamentales de la física, con consecuencias que aún no dejan de aparecer en nuestra comprensión del mundo.



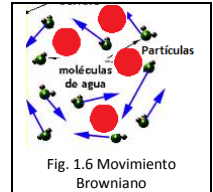
1.2 Aspectos disciplinares

1.2.1 Estados de la Materia, Temperatura y Presión

Desde un punto de vista macroscópico, una sustancia en estado sólido mantiene su forma y su volumen, una en estado líquido mantiene su volumen, pero se amolda a la forma del recipiente que la contiene, y en estado gaseoso cambia de forma y llena la totalidad del volumen del que dispone. Desde el punto de vista de las moléculas que lo forman, en un sólido las moléculas vibran alrededor de posiciones fijas de equilibrio. En los líquidos, las moléculas se organizan en grupos que se forman y separan constantemente, deslizándose unos sobre otros, pero sin

mantener una estructura definida a grandes distancias. En los gases, las moléculas están libres, moviéndose a gran velocidad y chocando constantemente entre ellas y con las paredes del recipiente que lo contienen. Esta imagen mental es el fundamento de toda explicación mecanicista de los gases.

Una evidencia experimental de la existencia de las moléculas es el movimiento Browniano⁴, que presentan las partículas en suspensión dentro de un líquido. Por ejemplo, los granos de polen en suspensión se mueven como si estuvieran vivos, producto de los choques aleatorios de las moléculas de agua que los rodean. Como la velocidad media de estas moléculas es proporcional a la temperatura, el efecto crece al aumentarla. Este es también el origen molecular de la difusión. Las partículas en suspensión se mueven con igual probabilidad en todas direcciones. Al considerar por lo tanto dos regiones en contacto, una con más concentración de partículas que la otra. La probabilidad de que una partícula de la zona de menos concentración pase a la de mayor concentración es igual a la probabilidad que tiene una partícula de esta zona de pasar a la primera. Pero, como hay más partículas en la zona de mayor concentración dispuesta a pasar a la de menor concentración que viceversa, esto causa una corriente neta que es proporcional a la diferencia de concentración entre las dos zonas. El efecto es causado simplemente porque a un lado hay más partículas en suspensión que en el otro, y no porque hubiese alguna asimetría en sus movimientos aleatorios.



Una imagen molecular de los estados de la materia se constituye en el hilo conductor para abordar los conceptos de temperatura y presión, y su fundamento se encuentra en la mecánica estadística. La idea intuitiva de que la temperatura T de una molécula aumenta si su velocidad media $\langle v \rangle$ y su energía cinética promedio $\langle E_c \rangle$ adquieren precisión a través del teorema de equipartición,

$\langle E_c \rangle = \frac{m \langle v^2 \rangle}{2} = \frac{3k_B T}{2}$ <p style="text-align: center; font-size: small;">Ec 1. Teorema de equipartición</p>	
--	--

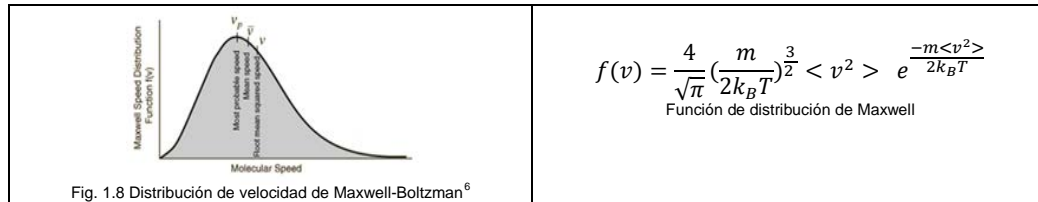
donde $k_B = 1,38 \times 10^{23} \frac{J}{K}$ es la *Constante de Boltzman*, T es la temperatura del gas, en grados Kelvin, $\langle v \rangle$ es la velocidad media en m/s y m , la masa en Kg.

Considere un gran número de moléculas moviéndose en un espacio tridimensional. La magnitud de la velocidad no es la misma para todas las moléculas, sino que forma un histograma según la distribución de Maxwell-Boltzmann. Este es el origen del secado por evaporación: si ponemos una tela mojada a secar, siempre habrá unas pocas moléculas con la suficiente velocidad para escapar del tejido mojado y salir al aire, llevándose mucha energía. Las que quedan chocan entre sí y se redistribuyen la energía restante, alcanzando una temperatura menor y una nueva distribución de Maxwell-Boltzmann para esa temperatura. Entonces, nuevas partículas alcanzan la velocidad de escape, y al hacerlo el proceso vuelve a comenzar, pero cada vez es más lento. El proceso se

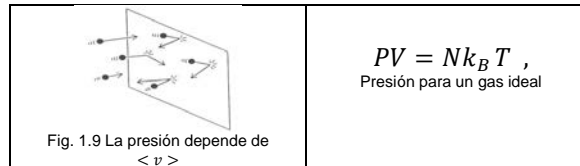
⁴ Una descripción matemática se encuentra en Einstein, A. "Investigations on the Theory of Brownian Movement". New York: Dover, 1956. ISBN 0-486-60304-0

⁵ Tomado de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/19/htm/sec_11.htm

acelera si hay viento, pues éste ayuda a que las moléculas de agua escapen. Como consecuencia, la ropa que se pone a secar al aire siempre está más fría que el medio ambiente, y siempre le quedará un remanente de agua.



En cuanto a la presión, microscópicamente ésta es el resultado del choque de las moléculas con las paredes del recipiente. Moléculas con velocidad media $< v >$ grande, ejercen mayor presión, y lo mismo pasa si el número de moléculas aumenta. En cambio, aumentar el volumen disminuye la presión, porque las moléculas deben recorrer mayores distancias para llegar a chocar, y los choques se hacen menos frecuentes. Todos estos efectos se resumen en la ecuación de estado de los gases ideales,



donde V es el volúmen del gas (en m^3). Esta ecuación se puede deducir en mecánica estadística directamente de la entropía, que se halla integrando el volumen del espacio de fase correspondiente a todos los estados de posición y movimiento de N moléculas que son compatibles con un cierto volumen V y una cierta energía E , pero esto está más allá de los alcances de nuestro trabajo con los estudiantes.

1.2.2 Gases ideales

Experimentalmente para un gas monoatómico se encuentran relaciones de proporcionalidad directa entre su presión y su temperatura e inversa con su volumen. Los casos particulares de estas relaciones describen procesos termodinámicos donde una de estas tres variables permanece constante. Estos son: el isobárico, donde el gas experimenta cambios de temperatura y volumen descritos por la ley de Charles; el isotérmico, expresado matemáticamente en la ley de Boyle-Mariote, y por último el isocórico, descrito por la ley de Gay-Lussac.

$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ <p>Ley de Charles</p>	$P_1 V_1 = P_2 V_2$ <p>Ley de Boyle-Mariote</p>	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ <p>Ley de Gay-Lussac</p>
---	---	--

⁶ Distribución para un modelo de moléculas tridimensionales donde se cuenta con tres grados de libertad.

Las tres ecuaciones se resumen en la ley de los gases ideales, presentada anteriormente. Esta ley coincide con la que los estudiantes aprenden en química $PV = nRT$, donde n es el número de moles y $R = 8,31 \frac{J}{K mol}$ es la constante universal de los gases, si identificamos que $R = N_A k_B$, donde N_A es el número de Avogadro. Este número es simplemente el número de unidades de masa atómica que hay en un gramo.

1.2.3 Energía interna, Trabajo y Calor

La energía interna de un material es la suma de la energía cinética de las moléculas que lo componen y de la energía potencial de los enlaces entre ellas. En el caso de los gases ideales no hay energía potencial, porque no hay fuerzas a distancia entre las moléculas, y por lo tanto toda la energía es cinética y, como ya mencionamos, proporcional a su temperatura. Por lo tanto, la energía interna de un gas ideal sólo varía si su temperatura cambia. La energía interna del gas puede aumentar en ΔE si recibe calor ∂Q o si hace trabajo ∂W de acuerdo con el teorema de conservación de la energía,

$$\Delta E = \partial Q - \partial W.$$

Teorema de conservación de la energía.

El trabajo W producido por una fuerza \vec{F} sobre un cuerpo que se mueve a lo largo de una curva C se define como la integral de línea $\int_C \vec{F} \cdot d\vec{l}$. Sin embargo, esta definición resulta inadecuada para los estudiantes. Es mejor relacionar el concepto de trabajo con la idea intuitiva de hacer algo que me cansa y por lo que recibo dinero, que cuantifica así la “cantidad de trabajo”. Como los desplazamientos horizontales tienen el problema de que también me canso sosteniendo algo en las manos (que discutiremos más adelante), recomendamos comenzar con desplazamientos verticales, en contra de la fuerza de gravedad. Si tenemos que subir una bolsa de arroz un piso, y nos pagan \$1000, ¿cuánto nos deberían pagar si lo tenemos que subir tres pisos? (el trabajo resulta ser proporcional a la distancia). ¿Cuánto, si la bolsa pesa ahora el doble? ¿Y si tenemos que hacer la misma fuerza para halar un carrito y transportarlo horizontalmente una distancia igual a los mismos tres pisos, ¿cuánto nos deberían pagar? (el trabajo resulta ser proporcional a la fuerza). Eso también ayuda a construir la intuición de la energía potencial. Los bultos que subo me pueden servir, además, como energía acumulada para hacer algún trabajo, por ejemplo, elevando un auto en una prensa hidráulica.

La energía cinética se puede construir usando el mismo ejemplo: ¿Qué tal si, en vez de subirlo, lo arrojamos al segundo piso desde abajo (como se hace con los ladrillos), dándole justo la velocidad para que llegué? ¿No me deberían pagar lo mismo? Es decir, que en la velocidad también hay energía. Para completar el concepto, basta con observar que, si duplico la velocidad inicial, la altura final del bulto se multiplica por cuatro, y que la altura final crece como la velocidad inicial al cuadrado (algo que se puede deducir directamente de la cinemática de la caída libre). Finalmente, un bulto en movimiento también me sirve para hacer trabajo, pues lo puedo lanzar contra las paletas de un mecanismo de malacates que, por ejemplo, actúe para subir un auto en una plataforma.

Finalmente, ¿por qué nos cansamos al mantener el bulto levantado del suelo, colgando de uno de nuestros brazos? Si subimos el bulto un piso y lo dejamos caer desde allí, bajamos las escaleras y lo volvemos a subir, y así sucesivamente, ¿nos cansamos? ¿Estamos haciendo trabajo? Sí, claro que sí, pero el trabajo se desperdicia. Eso es lo mismo que pasa al mantener un bulto levantado en la mano. Nuestros músculos del brazo, para hacer fuerza, mueven motores de Miosina que empujan los microtúbulos de Actina de las fibras musculares, consumiendo ATP. Cada vez que llega una señal nerviosa del cerebro, el motor de Miosina se cierra, envolviendo la molécula de ATP, y ese movimiento empuja al microtúbulo de Actina. El efecto es que el músculo se contrae y el bulto sube un poquito. Luego, el ATP se parte en dos pedazos: ADP y Fosfato, que se liberan del abrazo de la Miosina, ésta se abre y el bulto cae. La señal nerviosa que viene del cerebro es una secuencia de pulsos, y con cada pulso se repite el proceso que acabamos de describir. Si la secuencia de pulsos es muy rápida, el bulto cae cada vez una distancia menor que la que sube, el músculo se acorta constantemente, el brazo se dobla y subimos el bulto de manera perceptible. Si la secuencia de pulsos es más lenta, con cada pulso el bulto baja exactamente lo que subió, y percibimos que el bulto permanece quieto. Luego, sí estamos haciendo trabajo microscópico, pero ese trabajo se desperdicia: el bulto podría estar igual de quieto si lo ponemos sobre una mesa, y nos salvamos de hacer ese trabajo constante, y de cansarnos.

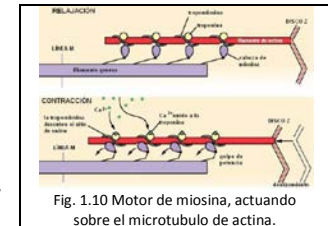


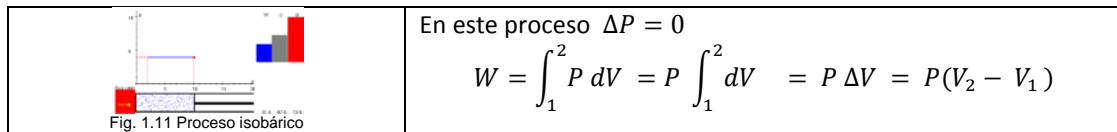
Fig. 1.10 Motor de miosina, actuando sobre el microtúbulo de actina.

La energía de las moléculas del gas solamente es debida a su velocidad, y la única manera de aumentar esa velocidad es hacerles trabajo, con alguna fuerza. Entonces, ¿cuál es la diferencia entre trabajo y calor? Desde el punto de vista microscópico, son casi lo mismo: en ambas, una fuerza acelera las moléculas del gas. Cuando empujamos una de las paredes que confinan el gas, como en un pistón, la fuerza que hacemos empuja las moléculas que en ese preciso momento están chocando contra la pared del pistón, y las acelera. Similarmente, cuando el pistón sale, las moléculas que chocan en ese preciso instante contra el pistón ejercen fuerza sobre él y lo empujan, haciendo trabajo, y la fuerza de reacción sobre ellas las desacelera. Cuando calentamos una de las paredes con una llama, las moléculas de gas caliente de la llama chocan contra la pared y la ponen a vibrar. La vibración empuja y acelera a las moléculas que chocan contra esa pared, pues les hacen trabajo. ¿Cuál es, entonces, la diferencia entre trabajo y calor? La diferencia es muy sutil. En el trabajo, cambian grados de libertad que estamos monitoreando (por ejemplo, el volumen en el ejemplo del pistón). Por lo tanto, sabemos exactamente cómo ese trabajo microscópico modifica el estado del sistema. En el calor, cambian grados de libertad que no estamos monitoreando (por ejemplo, la velocidad de alguna molécula). Por lo tanto, no sabemos exactamente cómo ese trabajo microscópico modifica el estado del sistema, y nuestra incertidumbre sobre el estado microscópico preciso de todas las moléculas aumenta.

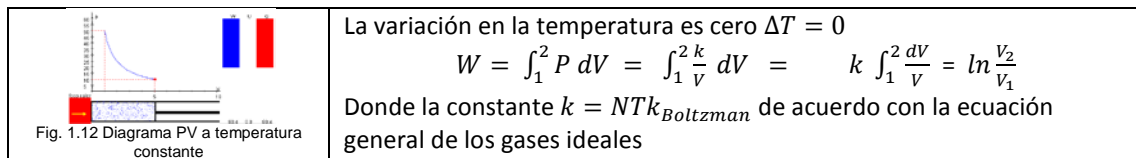
El trabajo W que realiza un gas al cambiar de volumen es igual a la fuerza que ejerce el pistón multiplicada por su desplazamiento. Como en un proceso cuasiestático la fuerza es igual a la presión por el área, el trabajo resulta ser la integral $W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$, es decir el área debajo de la curva en la gráfica P vs. V . Si el gas es ideal, $PV = Nk_B T$, y podemos pensar en tres procesos fundamentales, cada uno de los cuales mantiene constante una de las tres variables (P, V, T).

Proceso isobárico. Consiste en expandir o contraer el gas sin cambiar su presión. En consecuencia, si el volumen cambia, la temperatura (y la energía interna) también lo hacen. Si durante este proceso se suministra calor al gas, su temperatura asciende mientras el gas se

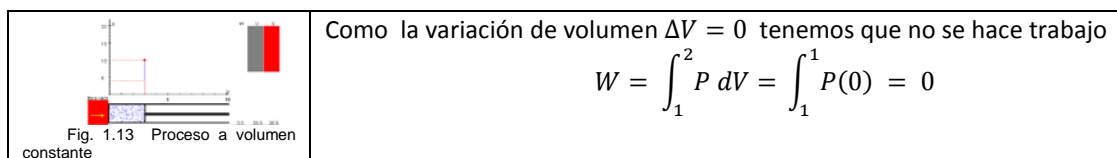
expande; si, por el contrario, se enfría, el gas pierde volumen y la temperatura y la energía interna disminuyen. Gráficamente y analíticamente se obtiene que el trabajo realizado corresponde a $P(V_2 - V_1)$



Proceso isotérmico. Consiste en no variar la temperatura del gas mientras se modifica su volumen. Como la temperatura no cambia, la energía interna tampoco lo hace. Sin embargo, un cambio de volumen implica que el gas ha hecho (o le han hecho) trabajo. En consecuencia, se debe suministrar (o retirar) calor al gas para que realice ese trabajo a medida que se expande, manteniendo la energía interna constante. Al representar este comportamiento en una grafica PV se obtiene que el trabajo es $W = k \ln \frac{V_2}{V_1}$, y de acuerdo con el teorema de conservación, $Q = W$.

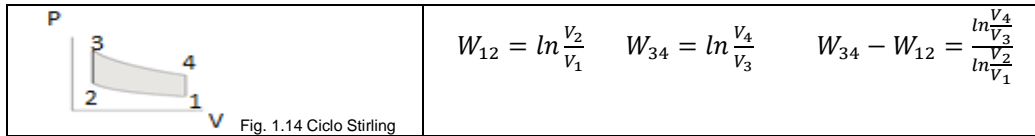


Proceso isométrico. Es una transformación de la presión, la temperatura y, en consecuencia, la energía interna del gas sin alterar su volumen. Como el volumen no cambia, el gas no realiza trabajo, y todo el calor que le entre se convierte en energía interna, con el consiguiente aumento de temperatura. Si se calienta el gas, su temperatura asciende de manera que las moléculas golpean con más fuerza las paredes del contenedor. En el caso de enfriar el gas, su presión, temperatura y energía interna disminuyen. La grafica presión-volumen correspondiente permite entender que no se hace trabajo, pues no hay área bajo la curva.



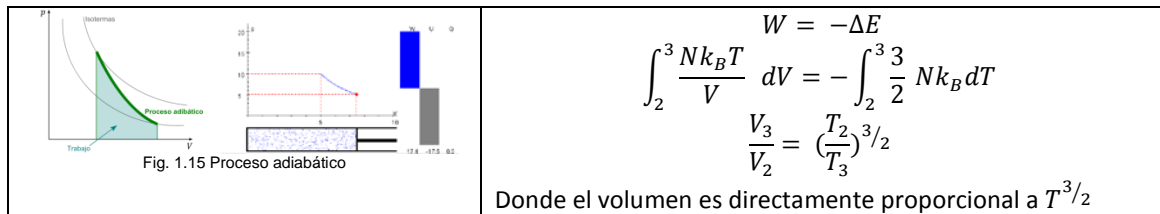
Si el gas es llevado por una serie de procesos donde el punto de llegada y de partida es el mismo se obtiene un ciclo, por ejemplo el ciclo Stirling, donde se comprime el gas a temperatura constante desde 1 hasta 2, luego se calienta para elevar su temperatura desde 2 hasta 3 sin variar su volumen, entonces llevarlo de 3 hasta 4 conservando esta temperatura y finalmente enfriarlo sin modificar su volumen desde 4 hasta 1.

En el ciclo Stirling el gas realiza un trabajo igual al área bajo la curva 3-4 al expandirse, para comprimirlo se le realiza un trabajo igual al área bajo la curva 1-2, de manera que el trabajo total corresponde a la diferencia entre estos trabajos, es decir al área encerrada en el ciclo 1-2-3-4.



A estos tres procesos se añade un cuarto, en el que no hay flujo de calor. Ese es el proceso adiabático.

Proceso adiabático. Cuando se quiere que un gas no intercambie calor con el medio que lo rodea, el trabajo realizado por el gas es igual a la disminución de su energía interna. Esto se puede lograr, por ejemplo, aislando térmicamente el gas (con poliuretano, o con vacío).



1.2.4 Variación de Entropía y el ciclo de Carnot

Desde un enfoque clásico resulta imposible determinar la entropía de un sistema, sin embargo podemos medir las variaciones de entropía que experimenta a través del flujo de calor dQ desde o hacia el sistema, a una temperatura T , como $\frac{dQ}{T}$. El ciclo de Carnot consiste en procesos termodinámicos donde el calor o la temperatura del sistema permanecen constantes, donde un gas ideal a temperatura inicial T_1 y volumen inicial V_1 experimenta una expansión isotérmica, ya que se le entrega una cantidad de calor Q_1 para llevar su volumen hasta V_2 sin cambiar su temperatura T_1 , realiza un trabajo W_1 igual a la cantidad de calor entregada Q_1 , que resulta ser

$$W_1 = Q_1 = \int_1^2 P dV = Nk_B T_1 \int_1^2 \frac{dV}{V} = Nk_B T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = Q_1$$

El segundo proceso que experimenta el gas es una expansión adiabática, debido a que se aísla térmicamente para que no intercambie calor con el ambiente, para llevarlo del volumen V_2 hasta un volumen final V_3 haciendo que su temperatura disminuya hasta T_2 . El trabajo realizado es igual a la disminución de la energía interna del gas, con lo cual.

$$\frac{3}{2} \int_2^3 \frac{dT}{T} = - \int_2^3 \frac{dV}{V} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{3/2} = \frac{V_2}{V_3}$$

Como tercer proceso el gas se sumerge en un baño térmico frío para que su temperatura T_2 no ascienda mientras se comprime, en este proceso se extrae una cantidad de calor Q_2 , del gas ideal, que es igual al trabajo W_2 que se hace en contra de las moléculas de éste para comprimirlo.

$$W_2 = -Q_2 = \int_3^4 P dV = -Nk_B T_2 \int_3^4 \frac{dV}{V} = -Nk_B T_2 \ln \frac{V_4}{V_3} = Nk_B T_2 \ln \frac{V_3}{V_4} = Q_2$$

Finalmente se realiza una compresión adiabática para regresarlo al volumen inicial V_1 , mientras su temperatura aumenta de T_2 hasta T_1 , aumentando también su energía interna y realizando un trabajo igual a este incremento de energía interna.

$$\frac{3}{2} \int_2^1 \frac{dT}{T} = \int_4^1 \frac{dV}{V} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{3/2} = \frac{V_1}{V_4} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{3/2} = \frac{V_4}{V_1}$$

El trabajo realizado durante el ciclo de Carnot se mide por la diferencia entre el trabajo de compresión W_2 y el de expansión W_1 .

$$W_1 - W_2 = Nk_B T_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - Nk_B T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

La relación $\frac{Q_1}{T_1}$, entre el calor suministrado Q_1 y su temperatura T_1 , y la relación $\frac{Q_2}{T_2}$, entre el calor cedido Q_2 y su temperatura T_2 , son cantidades iguales ($\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$), que miden la variación de entropía ΔS que experimenta el gas durante la expansión y durante la compresión, en otras palabras, la entropía que entra (expansión) es igual a la entropía que sale (compresión), de manera que la variación de entropía durante todo el ciclo de Carnot es nula y resulta ser,

$$\Delta S = \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = Nk_B \ln \frac{V_2}{V_1} - Nk_B T_2 \ln \frac{V_3}{V_4} = 0 \quad \text{porque} \quad \frac{V_3}{V_4} = \frac{V_2}{V_1}$$

La entropía en un ciclo de Carnot se conserva, sin embargo en procesos espontáneos siempre está en aumento, en consecuencia siempre que exista flujo de calor de una temperatura alta a una más baja abra creación de entropía o por lo menos se conservara, como se plantea en la desigualdad de Clausius.

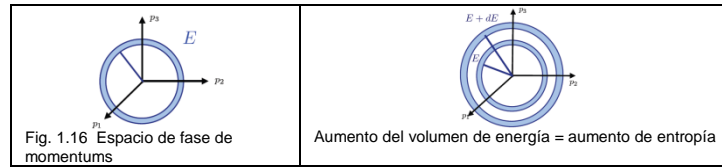
$$\oint \frac{dQ_S}{T} \leq 0$$

1.2.5 Entropía de la mecánica estadística

En mecánica estadística la entropía es la cantidad de desinformación que tenemos sobre el estado del sistema, en mecánica clásica, el estado de un sistema se describe dando la posición y la velocidad (o el momentum) de las N partículas que lo conforman. El espacio formado por estas variables se denomina el espacio de fase del sistema, todo estado del sistema se representa como un punto en el espacio de fase. La entropía corresponde, salvo un factor constante, al número de bits que necesitamos obtener (es decir al número de preguntas que se responden con sí o no que necesitamos hacer) para determinar en qué parte del espacio de fase está el sistema. Cada vez que respondemos una pregunta sí o no de donde está el sistema disminuimos el espacio de fase a la mitad; Como en mecánica cuántica una coordenada de posición y su momentum asociado cumplen el principio de incertidumbre de Heisenberg, podemos determinar el estado del sistema solo hasta un volumen mínimo en el espacio de fase h^{3N} , donde h es la constante de Plank. Por lo

tanto, la entropía S del sistema con energía entre E y $E+dE$ es proporcional a $\log_2 \frac{\Omega}{h^N}$, donde Ω es el volumen del espacio de fase para todos los estados con energías entre E y $E+dE$.

Una molécula en un volumen V del espacio de fase se describe con 3 posiciones (x,y,z) y tres momentums (p_x, p_y, p_z) , que configuran las 6 dimensiones del espacio de fase. Si la molécula está libre de interacciones, su energía es completamente cinética, $E = \frac{1}{2m}(p_x^2 + p_y^2 + p_z^2)$ y podemos separar el espacio de posiciones del espacio de momentums. Si la energía de la molécula está entre E y $E+dE$ su estado se encuentra dentro de un cascarón esférico en el espacio de momentums de radio $\sqrt{2mE}$ y ancho dE , y dentro de un volumen V en el espacio de posiciones.



La entropía para una molécula es, por lo tanto

$$S = k_B \ln \left(\frac{2\pi(2m)^{3/2}}{h^3} E^{1/2} V \right),$$

y para N moléculas resulta ser

$$S = k_B \ln \left(\frac{3N}{2} \frac{\left(\frac{2\pi}{m}\right)^{3N/2}}{N! \Gamma\left(\frac{3N}{2}+1\right) h^{3N}} E^{\left(\frac{3N}{2}-1\right)} V^N \right),$$

donde se ha dividido el número de estados por $N!$ Para tener en cuenta que las moléculas son indistinguibles. De aquí se deducen directamente dos ecuaciones de estado importantes. Si N es muy grande,

$$\frac{1}{T} = \frac{\partial S}{\partial E} \quad \text{y, de aquí,} \quad E = \frac{3}{2} N k_B T.$$

De manera similar,

$$\frac{P}{T} = \frac{\partial S}{\partial V} \quad \text{y, de aquí} \quad \frac{P}{T} = k_B \frac{N}{V}$$

Es maravilloso notar que las ecuaciones básicas de los gases ideales salen directamente de una entropía calculada como el volumen, en el espacio de fase de N partículas, de todos los estados compatibles con valores globales fijos de energía y volumen. Más aún, es fácil comprobar que los incrementos de entropía calculados de esta manera coinciden con los obtenidos en el ciclo de Carnot. Este es el fundamento para proponer que la entropía es, en realidad, la incertidumbre que tenemos acerca de cuál es el estado microscópico en el que se encuentra el sistema.

La entropía de un sistema puede aumentar de dos maneras. Por una parte, el calor, por ser un trabajo microscópico que no monitoreamos, aumenta esa incertidumbre. Por otra, cuando el sistema está confinado a una pequeña región del espacio de fase, y ese confinamiento se cambia de repente por uno mayor, también aumenta la incertidumbre si renunciamos a rastrear la evolución temporal de ese pequeño volumen. En efecto, un teorema de mecánica analítica, llamado el *teorema de Liouville*, garantiza que la evolución mecánica de un sistema no cambia el volumen del espacio de fase donde el sistema puede estar. La evolución temporal estira, dobla y retuerce el volumen, pero no lo expande ni lo contrae. Por lo tanto, al cambiar el confinamiento

por uno mayor, el volumen del espacio de fase no cambia en principio, y debemos ser capaces de rastrearlo, aunque esta operación puede estar seriamente limitada por la teoría del caos, pues con frecuencia estados que inicialmente son muy próximos en el espacio de fase resultan estar muy alejados al final de la evolución temporal. Al final, es el ejercicio mental de borrar de nuestras mentes la información inicial que tenemos del sistema el que aumenta la entropía.

1.3 Aspectos didácticos

1.3.1 Los estándares básicos de competencia en termodinámica del MEN

En el caso de las ciencias naturales los estándares propuestos en el año 2000 por el ministerio de educación nacional MEN apuntan a desarrollar la capacidad de poner en práctica el conocimiento en la solución de problemáticas del entorno natural. En el caso de la física térmica el MEN plantea alcanzar, en ciclo cuatro y ciclo cinco, competencias como:

Tabla 1.1. Estándares de termodinámica

Competencia específica del conocimiento científico ⁷	Competencia específica del entorno físico ⁸
C1 Utilizo las matemáticas para modelar, analizar y presentar datos y modelos en forma de ecuaciones, funciones y conversiones.	F1 Establezco relaciones entre las variables de estado en un sistema termodinámico para predecir cambios físicos y químicos y las expreso matemáticamente.
C2 Establezco relaciones causales y multicausales entre los datos recopilados.	F2 Comparo los modelos que explican el comportamiento de gases ideales y reales.
C3 Registro mis observaciones y resultados utilizando esquemas, gráficos y tablas.	F3 Establezco relaciones entre energía interna de un sistema termodinámico, trabajo y transferencia de energía térmica; las expreso matemáticamente.
C4 Propongo y sustento respuestas a mis preguntas y las comparo con las de otros y con las de teorías científicas.	F4 Relaciono las diversas formas de transferencia de energía térmica con la formación de vientos.
C5 Formulo hipótesis con base en el conocimiento cotidiano, teorías y modelos científicos.	F5 Explico la transformación de energía mecánica en energía térmica.
	F6 Verifico el efecto de presión y temperatura en los cambios físicos y químicos.

Pase a que en los estándares no se hace mención a la entropía, se ha planteado que ésta es una magnitud fundamental en el estudio de los procesos termodinámicos y que sin ella las competencias propuestas no se alcanzaran satisfactoriamente. Como lo ha sugerido Georg Job en libro “nueva representación de la termodinámica: la entropía como calor”, la enseñanza de la termodinámica a partir del concepto de entropía puede ser más intuitiva y facilita el cambio conceptual.

⁷ Documento de estándares básicos de competencia en ciencias naturales del MEN, Disponible en http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-81033_archivo_pdf.pdf

⁸ Competencias planteadas para grado noveno, sin embargo se han aplicado para grado decimo debido a que en el colegio en cuestión solo se imparte física en grado decimo y once.

1.3.2 Los libros de texto y la enseñanza de la termodinámica

El análisis de la termodinámica en libros de física para universitarios inicia con un estudio cualitativo del calor, sus formas de transferencia y sus efectos en los cambios de estado. Luego se realiza un estudio cuantitativo de las leyes de los gases ideales y de la ecuación de estado; En la mayoría de libros se emplea la fórmula $PV = nRT$ en la solución de ejercicios que desarrollan la mecanización pero no el análisis. Al abordar las leyes de la termodinámica se habla de trabajo mecánico, de eficiencia y conservación de la energía relacionada con los conceptos de calor, temperatura y presión a través de ciclos termodinámicos. Se muestran aplicaciones a la ingeniería de las máquinas térmicas y en algunos fenómenos naturales a nivel de atmósfera como la formación de vientos y nubes. En el capítulo acerca de entropía ésta se plantea como una medida del desorden molecular cuantificable mediante cálculo, a partir de deducciones matemáticas se muestra cómo se comporta la entropía en los procesos termodinámicos experimentados por el gas de trabajo de una máquina térmica. Este enfoque constituye un problema de aprendizaje porque no favorece la construcción intuitiva del concepto y su asociación con otros conceptos ya abordados como temperatura, presión, trabajo y calor.

Los libros a los que pueden acceder los estudiantes de la institución Fernando Mazuera Villegas son tomo 1 y 2 de la física de Serway cuarta edición, física conceptual de P. Hewitt y los tomos 1 y 2 de la física de M. Valero. La pertinencia del desarrollo de la termodinámica y los fenómenos térmicos en estos textos se analiza bajo los criterios de: nivel de enseñanza y desarrollo del tema.

Tabla 1.2 Física de Serway

Libro	Física Serway	tomo I	4ª edición	McGraun Hill
Nivel	Universitario Las expresiones matemáticas requieren herramientas de cálculo que el estudiante de grado decimo no maneja, en cuanto a los conceptos no se permite su construcción sino que están dados a partir de definiciones y ejemplos. Una ventaja es la presentación de gráficas que pueden facilitar la comprensión por parte de estudiantes incluso de colegio. Una dificultad es que la secuencia de los temas es conforme al desarrollo histórico de los conceptos: temperatura, presión, calor, energía, entropía.			
Desarrollo del tema	El estudio de la termodinámica se aborda al final del libro en cuatro capítulos: Cp 1. Termodinámica: Equilibrio térmico relacionado con el contacto térmico entre objetos, se describe el funcionamiento de los termómetros haciendo ejercicios de conversión de escalas de temperatura, aprovechando la descripción del termómetro de mercurio se introduce el tema de dilatación térmica. Ecuación de estado para los gases ideales como $PV = nRT$ y se propone desarrollar ejercicios usando esta ley y las ecuaciones de dilatación. Cp 2. Calor y primera ley de la termodinámica: El calor como energía a partir del experimento de Joule para determinar el equivalente mecánico del calor, desarrollo cuantitativo a partir de tablas de calor latente, calor específico y capacidad calorífica de materiales, en este desarrollo no se hace mención de J. Black quien como vimos inventó estos conceptos. Desde un enfoque macroscópico se presentan los procesos termodinámicos y se conectan con el concepto de trabajo a través de las gráficas P-V para finalmente expresar la primera ley como una ecuación diferencial donde aparecen términos no muy claros como el de energía interna. Al final de la unidad se describen los fenómenos de transferencia de calor sin mayor conexión con el de trabajo y energía interna. Cp 3. La teoría cinética de los gases: se presenta el modelo cinético de un gas ideal por medio de demostraciones matemáticas se muestra como la presión y la temperatura del gas son función de la velocidad cuadrática media de las moléculas. Desarrolla ampliamente el principio de equipartición de la energía para gases ideales, finalmente se presenta todo un desarrollo matemático de la ley de distribución de velocidades, retomando alguna reseña histórica sobre Maxwell y Boltzman. Se presentan ejercicios para solucionar mediante cálculo. Cp 4. Máquinas térmicas, entropía y segunda ley: haciendo una introducción a los procesos reversibles e irreversibles se establece la entropía como flecha del tiempo, indica en qué dirección deben ocurrir los eventos en la naturaleza, Tomando como base la máquina de Carnot se llega al concepto de entropía como función de estado.			

Tabla 1.3 Física conceptual de P. Hewitt

Libro	Física conceptual P. Hewitt	tomo único	3ª edición	Pearson
Nivel	<p>Para todos</p> <p>Los desarrollos matemáticos presentados son sencillos ya que emplean una matemática básica</p> <p>Presenta los conceptos a partir de situaciones familiares o cotidianas pero luego busca explicaciones a fenómenos más complejos. Como el de la circulación de la atmósfera.</p> <p>La secuencia de temas permite la conceptualización de temperatura, calor como energía y entropía la conexión entre estos tres conceptos se da a partir de su explicación microscópica.</p>			
Desarrollo del tema	<p>La termodinámica se aborda en cuatro capítulos como sigue: Temperatura calor y expansión; Transmisión del calor, cambio de fase y termodinámica.</p> <p>Lo diferente en este texto es que desde el inicio el concepto de temperatura es presentado a nivel macroscópico y con ello se explica el funcionamiento de los termómetros a continuación se presenta un enfoque molecular abordando aspectos de la teoría cinética molecular en consecuencia el calor se presenta como energía interna. Se explica el equilibrio térmico en función del calor no solo de la temperatura, por último se presentan los fenómenos de dilatación, transferencia de calor, cambio de fase entre otros tanto a nivel molecular y macroscópico. Finalmente se plantean las tres leyes de la termodinámica y se habla de entropía como una medida del desorden tanto molecular como observable.</p>			

Tabla 1.4 Física de M. Valero

Libro	Física Fundamental M. Valero	tomo I	2ª edición 1984	Norma
Nivel	<p>Colegio, educación media</p> <p>Es un texto tradicional en la enseñanza de la física en secundaria, está estructurado de manera concreta pero sin perder rigurosidad en cuanto a cálculos numéricos y conceptos científicos. Se presentan algunas lecturas de tipo histórico y evaluaciones tipo icfes con el fin de profundizar en los temas tratados.</p>			
Desarrollo del tema	<p>Sobre la base de la teoría cinética molecular se definen operacionalmente los conceptos de calor y temperatura aplicados posteriormente para fenómenos calorimétricos y dilatación. Se abordan las leyes de Boyle, Charles y de Lussac para comprender el comportamiento de los gases ideales. Se proponen prácticas de laboratorio que requieren de materiales específicos y montajes técnicos con los que desafortunadamente no se cuenta en el colegio. En un capítulo siguiente se hace el estudio de las relaciones entre las diferentes propiedades de la materia y el calor, estableciendo así los principios de la termodinámica.</p>			

1.3.3 Dificultades en la enseñanza- aprendizaje de la termodinámica

Existen conceptos contruidos erróneamente como los de temperatura, calor, energía interna y entropía que se arraigan en los esquemas mentales, no solo de los estudiantes, y que dificultan la comprensión de explicaciones científicas frente a los fenómenos térmicos. En la literatura se encuentran trabajos de investigación que referencian propuestas didácticas alternativas para enseñar estos y otros conceptos de la termodinámica, algunos de ellos son:

“La dinámica molecular y la termodinámica estadística: una propuesta pedagógica para abordar los conceptos básicos de la termodinámica en cursos de media vocacional”, Nydia del Carmen Casares, 2011, donde se expone una propuesta didáctica para abordar cuantitativamente los conceptos de calor y temperatura con estudiantes de secundaria a partir del modelo cinético molecular y con herramientas de estadística.

F. Herrmann, 2010, en “Comencemos con la entropía” en este artículo el autor hace una propuesta de aula para explicar las leyes de la termodinámica a partir de la entropía basada en el libro de J. Job que ha sido ampliamente difundido, parte de los resultados muestran que aún cuando el concepto de entropía se adapta en los modelos explicativos de los estudiantes, presentan problemas para comprender que es calor.

L. Escobar, Y. González y C. Gutierrez, en su ponencia del año 2008 “enseñanza de los conceptos de calor y temperatura enmarcada en la teoría del cambio conceptual” exponen los aspectos didácticos como la V de Goving, aspectos históricos como los textos de J. Black sobre el calor y los aspectos pedagógicos como el aprendizaje por cambio conceptual, encontrando que representar los conceptos de temperatura y calor a través de la V de Goving facilita a los estudiantes diferenciar estos conceptos y al profesor identificar ideas erróneas.

El trabajo de Camelo, F, y Rodriguez, S., 2007, en “Una revisión histórica del concepto de calor: algunas implicaciones para su aprendizaje”, se plantea el desarrollo histórico del calor desde la idea de los cuatro elementos, hasta el concepto de energía, aunque no se hace mención al concepto de entropía se plantea una reflexión acerca de la ruptura epistemológica entre las ideas de calor como fluido y la de calor como energía; Se encuentra que la lectura de textos originales por parte de los estudiantes facilita distinguir entre estos dos modelos.

El trabajo de G. Dumrauf y S. Cordero (2004) en su artículo “¿QUÉ COSA ES EL CALOR?” INTERACCIONES DISCURSIVAS EN UNA CLASE DE FÍSICA, En este artículo se muestra la importancia de la discusión mayéutica (interacción discursiva) acerca del concepto de calor entre estudiantes de nivel preuniversitario y el docente. El trabajo en aula inicia con la identificación ideas previas sobre el calor, se continúa con la consulta y análisis de textos, finalmente se desarrolla la habilidad escritural para elaborar un discurso acerca del calor.

“Video Programmes as Learning Tools: teaching the gas law and behavior of gases in Finnish and Canadian Senior High Schools”, Sauli Puukari, 2003, una investigación realizada en con estudiantes de secundaria en Finlandia, donde se muestra la pertinencia del uso de videos en la enseñanza de la ley de los gases y su comportamiento; Tomando dos grupos de control, se muestra como la comprensión del modelo cinético molecular es muy superior en el grupo donde se implementaron videos que en el grupo donde se abordó el tema a partir de textos y cartillas.

H. L. Callendar, 1911, quien se dedicó al estudio de la termodinámica (1863-1930), propone que el concepto de entropía descubierto por Clausius es el mismo concepto de calor propuesto por Black y Carnot en los siglos XVIII y XIX. Sus descubrimientos desde el punto de vista disciplinar los publicó en su artículo ON THE CALORIC THEORY OF HEAT en Proceedings of the Physical Society of London. Luego, en 1972 Georg Job, relacionando el concepto intuitivo de calor y el concepto físico de entropía, re-encontró que son equivalentes. Este enfoque ha sido adoptado por la Universidad de Karlsruhe, en lo que se conoce como la “Escuela de Karlsruhe”. Más tarde, y en fecha tan reciente como 1996, Hans Fuchs publicó “The dynamics of heat”, un libro de texto para estudiantes de ciencias e ingeniería en la Universidad de Ciencias Aplicadas de Zurich, en Winterthur, que aborda los fundamentos de la termodinámica desde el punto de vista de la física del continuo donde la entropía es la base de una teoría dinámica del calor.

La mayoría de estos trabajos son compilaciones de propuestas alternativas para la enseñanza de algunos conceptos de la termodinámica que pueden convertirse en herramientas didácticas para

futuros estudios sobre la enseñanza de esta ciencia. Solo el trabajo de *Sauli Puukari (2003)* se implementó y evaluó con un diseño pre-experimental con pre y post test, cuyo resultado resultó ser favorable para el aprendizaje. El trabajo de *G. Dumrauf y S. Cordero (2004)* se aplicó en aula con estudiantes de pregrado de facultades de ciencias, sin embargo los resultados de esta implementación se analizan cualitativamente a través preguntas abiertas. Los demás trabajos, aunque no se implementan, presentan valiosos aportes disciplinares al presente trabajo.

2. DISEÑO DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

2.1 Generalidades de la propuesta didáctica

Se propone una escalera de conceptos para abordar la termodinámica desde un enfoque cualitativo. En ella, los conceptos de modelo molecular, temperatura y presión constituyen la base para abordar en una segunda etapa las leyes de gases ideales de manera cuantitativa. En un tercer momento se construye el concepto de trabajo, aprovechando ideas intuitivas, para luego asociarlo a los conceptos de energía y calor a través de los procesos termodinámicos. En el momento final, en coherencia con los conceptos ya abordados, se introduce la entropía como la desinformación a nivel molecular y la variación de entropía por medio del ciclo de Carnot.

En general se emplean ayudas didácticas como: videos, simulaciones, *applets* de física y experimentos demostrativos para construir una imagen molecular de la materia que posibilite la comprensión de los conceptos de temperatura, presión, trabajo, calor y entropía. Las metodologías se adaptan a cada etapa de la secuencia didáctica, generalmente usando herramientas de aprendizaje por núcleos problemáticos para generar cambios conceptuales, como por ejemplo en los conceptos de trabajo y calor. Además, se emplean herramientas de aprendizaje activo para guiar el pensamiento durante los experimentos demostrativos, metodologías tradicionales para establecer cuantitativamente las leyes de los gases ideales y el concepto de entropía, entre otros, y dinámicas de trabajo individual para la construcción de graficas y de trabajo en equipo para el contraste de predicciones.

Se han definido cuatro momentos plasmados en siete guías de trabajo, como sigue. El primer momento incluye el modelo cinético-molecular y los conceptos de temperatura y presión. El segundo momento cubre el tema de gases Ideales. El tercer momento trata los temas de trabajo, energía interna y calor; y el cuarto momento se centra en el tema de Entropía. Las siete guías de trabajo se encuentran compiladas en los anexos.

2.2 Momentos de la secuencia didáctica

La descripción del camino a seguir conceptualmente, el porqué de las prácticas y las metodologías a implementar se sintetizan para cada guía de trabajo de la secuencia didáctica.

2.2.1 Momento 1: Modelo cinético-molecular, temperatura y presión**Tabla 2.1. Guía 1 Modelo cinético-molecular**

Tiempo estimado	Dos sesiones de 50 minutos
Objetivo	Predecir de manera cualitativa el comportamiento de las moléculas que componen cuerpos en diferentes estados (sólido, líquido, gas)
Conceptos intuitivos	Molécula, sólido, líquido, gas
Ayudas didácticas	Videos, montajes de modelos moleculares, microscopio.
Discusión	¿Todas las partículas se comportan de la misma forma?, eso depende de si constituyen un Sólido, un líquido o un gas. ¿Existe alguna evidencia acerca de la existencia de las moléculas? si, el movimiento browniano. ¿Por qué el hielo flota en el agua? Su estructura molecular ocupa más espacio, los cristales.
Metodología	De acuerdo con el aprendizaje activo mostrar un sólido, un líquido y un gas para indagar preconceptos acerca de su estructura molecular; presentar el video de las moléculas y volver a preguntar por el comportamiento de las moléculas en cada estado; modelar el comportamiento de las moléculas a través del montaje de canicas dentro de una caja con agua y el de pelotas de icopor dentro de una botella pet, mostrar como al mover las canicas o las pelotas lentamente están vibran y se mantiene agrupadas y a medida que las agitemos más van separándose y cambiando sus movimientos para formar un líquido y luego un gas. Hacer el experimento de gotas de tinta en agua, ver al microscopio lo que sucede con las partículas de tinta, presentar video del movimiento Browniano pedir que expliquen porque se mueven así las partículas. Finalmente poner un hielo en un vaso con agua y mostrar la foto de un iceberg, mostrar la simulación del cristal de hielo, construir una explicación desde el punto de vista microscópico al fenómeno de flotación de hielo en agua.
Evaluación	Presentar un escrito corto donde se generen explicaciones desde el punto de vista molecular para el movimiento browniano y para la flotación del hielo en el agua.
Actividad complementaria	Indaga acerca de otras formas cristalinas y realiza en casa el experimento de cristales de sal disponible en: http://pendientedemigracion.ucm.es/info/analitic/Asociencia/Cristalizacion.pdf

Tabla. 2.2. Guía 2. Presión


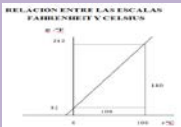

Tiempo estimado	Dos sesiones de 50 minutos
Objetivo	Comprender el concepto de presión a nivel macroscópico y microscópico para hacer predicciones correctas de sus efectos sobre los fluidos.
Conceptos intuitivos	Fuerza, atmosfera, gas, moléculas
Ayudas didácticas	Videos, simulación, experimentos demostrativos de presión
Discusión	¿Por qué presión no es lo mismo que fuerza? No es solo la fuerza también es el área de contacto. Si los líquidos hacen presión, ¿qué pasa si me sumerjo en una piscina? Presión hidrostática. ¿Cuánto pesa la atmosfera? Presión atmosférica. ¿Cómo hacen presión los gases? Sus moléculas golpean
Metodología	<p>Abordar el concepto de presión a nivel macroscópico como cociente entre fuerza y presión a través del experimento demostrativo de la cama de puntillas y del análisis del video La Ciencia de la Presión para luego abordarlo cuantitativamente. La presión hidrostática se analiza cualitativamente por medio del experimento del buzo de descarte y de sumergir la mano en una pecera, importante es que varios estudiantes realicen estas experiencias para que puedan sentir los efectos de la presión y apropien así el concepto. Para presión atmosférica presentar el video acerca de la atmosfera, luego si se cuenta con los implementos hacer la demostración del barómetro de mercurio o de agua, mostrar imágenes de variación de la presión con la altitud e indagar porque sucede esto, mostrar algo acerca de las unidades de medida de la presión y sus equivalencias. La presión en un gas como los choque contra las paredes se presenta a través de la simulación de los gases y de un video de dinámica molecular, buscando establecer los efectos de la velocidad, la masa y la cantidad de moléculas.</p> 
Evaluación	Indagar respuestas a cuestiones como, ¿por los liquido no se comprimen?, ¿cómo el valor de la presión que ejerce la atmosfera puede variar?, ¿contra quién ejercen presión las moléculas de un gas?, ¿Qué pasa si las moléculas tiene más masa y más velocidad?
Actividad complementaria	Consultar sobre la unidades de media de la presión y hacer equivalencias entre ellas

Tabla. 2.3. Guía 3. Temperatura

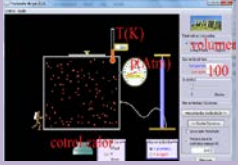

Tiempo estimado	Tres sesiones de 50 minutos
Objetivo	Comprender el concepto de temperatura desde el punto de vista molecular y el concepto de dilatación como su efecto a nivel macroscópico.
Conceptos intuitivos	Frio, caliente, termómetro, gas
Ayudas didácticas	Experimentos demostrativos de temperatura, lectura Los Termómetros,
Discusión	¿La sensación de caliente y frio sirve para saber la temperatura de las cosas? Ojo los sentidos nos engañan. ¿Cómo se mide la temperatura? Escalas Celsius, Farenheit y Rankine. ¿Cuál fenómeno me ayudan a medir

	la temperatura? la dilatación, y así funcionan los termómetros. ¿puedo saber la temperatura de las moléculas de un gas? Si, sí sabes su velocidad.
Metodología	<p>Iniciar con el experimento de agua caliente fría y tibia para mostrar que la percepción de temperatura no se puede guiar con los sentidos. Mostrar el fenómeno de dilatación como un efecto de la variación de temperatura a través del experimento del termómetro casero de gas, la lectura sobre los termómetros y el uso de un termómetro de mercurio, el experimento del papel aluminio y el video de la lámina bimetálica.</p>   <p>Construir el concepto de punto de fusión y punto ebullición del experimento Hacer helado en 5 minutos, y del registro de temperatura de la ebullición del agua, el alcohol y el agua con sal, para determinar las escalas de temperatura. Establecer gráficamente las equivalencias entre escalas por medio de la pendiente y punto de corte de la recta obtenida. Usar el experimento de canicas dentro de la bomba para construir una experiencia sensorial entre la velocidad y temperatura, luego usar la simulación Propiedades de los gases para establecer que la temperatura y la energía cinética son proporcionales a $\langle v^2 \rangle$</p>
Evaluación	Construye un mapa mental donde relaciones los conceptos de temperatura, presión y dilatación. Puedes usar dibujos y frases cortas para estructurar el mapa.
Actividad complementaria	Mira la película “el cero absoluto” y responde. ¿Cuáles son las temperaturas de congelación del hidrogeno, del oxigeno y del helio?, ¿qué técnicas se usan para aislar térmicamente hidrogeno liquido?, ¿cuál es la temperatura en Celsius más baja posible?, ¿para qué se necesitan temperaturas tan bajas?

2.2.2 Momento 2: Gases ideales

Tabla. 2.4. Guía 4. Gases ideales

Tiempo estimado	Dos sesiones de 50 minutos
Objetivo	Predecir de manera cualitativa y cuantitativa las leyes de los gases ideales.
Conceptos previos	Presión, volumen, temperatura, moléculas
Ayudas didácticas	Simulador <i>gasproperties</i> _es de la PHET, experimentos demostrativos de las leyes de gases ideales
Discusión	La discusión se centra en encontrar relaciones de proporcionalidad entre presión y temperatura, volumen y temperatura, presión y volumen; y la dependencia de las variables con el número de moléculas.

Metodología	 <p>En busca de deducir relaciones cualitativas entre las variables termodinámicas presión, volumen se usa la metodología de aprendizaje activo, presentando experimentos demostrativos de las leyes de gases ideales, se pide hacer predicciones individuales y grupales, se socializan las predicciones, se realiza la experiencia y finalmente se comparan las predicciones con las explicaciones a lo observado. Para lograr explicaciones cuantitativas desde el punto de vista molecular entre las variables se usa el simulador <i>gasproperties_es</i>. Se propone el desarrollo de las leyes mediante la construcción de graficas con el fin de deducir relaciones de proporcionalidad entre las variables, deducir la ecuación general de los gases ideales por medio de las leyes ya establecidas.</p> 
Evaluación	Construir en papel milimetrado las graficas de las leyes de Charles, Boyle y Gay- Lussac, desarrollar 5 problemas usando las proporciones encontradas mediante las graficas.
Actividad complementaria	Consultar la biografía de Boltzman, Avogadro, Boyle, Gay Lussac y Charles

2.2.3 Momento 3: Trabajo, Energía interna y Calor


Tabla. 2.5. Guía 5. Trabajo y energía

Tiempo estimado	Dos sesiones de 50 minutos
Objetivo	Construir cualitativamente los conceptos de trabajo y energía a partir de las ideas intuitivas de los estudiantes.
Conceptos previos	Trabajo, fuerza, energía cinética, temperatura, presión
Ayudas didácticas	Simulaciones Laboratorio de Colisiones y Gas Properties, applet del ciclo Stirling, guía 5
Discusión	¿El trabajo para subir algo es el mismo que para desplazarlo lateralmente? Revisar el concepto de fuerza por distancia. ¿Para qué sirve la energía acumulada en un cuerpo al subirlo y la acumulada por cambiarle la velocidad? Para hacer trabajo como variación de la energía. ¿Las moléculas pueden hacer trabajo? eso depende del camino que elijamos, ¿Cómo se cuanto trabajo hacen las moléculas? por los procesos termodinámicos, en este punto se indaga por el comportamiento de la energía interna del gas y su relación con el trabajo. Finalmente, como aplicación, el trabajo en el Motor Stirling.

Metodología	<div data-bbox="505 197 646 289" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="505 514 621 615" data-label="Figure"> </div> <p>Usando el concepto intuitivo de los estudiantes sobre trabajo se plantean situaciones en que debe deducir si ha realizado trabajo o no, y cuanto cobraría por éste. Esta idea simple, permite guiar el aprendizaje del concepto desde la definición de fuerza por distancia, pasando por trabajo como variación de la energía potencial y variación de la energía cinética (macroscópicamente y en el caso de las moléculas). A nivel microscópico se define trabajo como $P\Delta V$ a través del área bajo la curva de una grafica PV para cada proceso termodinámico, abordados en la guía de gases ideales, en el caso del proceso isotérmico las graficas deben estar en papel milimetrado para determinar el trabajo realizado mediante el conteo de cuadros. Como aplicación se muestra un video del motor Stirling, se analiza el ciclo Stirling por medio de preguntas como ¿de qué procesos se compone el ciclo?, ¿cuánto trabajo se realiza en cada proceso?, ¿qué pasa con la energía del gas en cada proceso?, ¿qué trabajo hace el gas durante todo el ciclo?</p> <div data-bbox="1239 338 1370 430" data-label="Image"> </div>
Evaluación	<p>Construye las graficas presión volumen para los procesos isobárico, isotérmico e isométrico y determina el trabajo realizado en cada caso.</p>
Actividad complementaria	<p>Interactúa con el applet, http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/_/estadistica/termodinamica/stirling/stirling.html, representa el ciclo Stirling en una grafica Presión Volumen y determina el trabajo realizado</p>

Tabla. 2.6. Guía 6. Calor

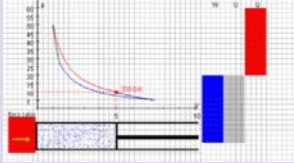
Tiempo estimado	Dos sesiones de 50 minutos
Objetivo	Comprender cualitativamente el concepto de calor para hacer predicciones correctas acerca de los procesos termodinámicos.
Conceptos previos	Temperatura, presión, trabajo, energía, procesos termodinámicos
Ayudas didácticas	Simulación Gasproperties_es, video Procesos termodinámicos, experimentos demostrativos de pared adiabática y pared diatérmica, videos de la dinámica de la atmosfera y de transferencia de calor
Discusión	Entrada en el concepto de calor como trabajo molecular, el calor es una forma de trabajo que no monitoreamos. ¿Qué pasa cuando calentamos el gas? Las moléculas pueden solo hacer trabajo, solo hacer calor o ambas, presentar los procesos termodinámicos y la conservación de la energía interna.
Metodología	<p>De acuerdo con el de aprendizaje por núcleos problemicos se plantea como pregunta orientadora ¿Cuáles son los efectos del calor en un gas?, para lograr responder, se inicia mostrando en el simulador que al calentar el gas las moléculas hacen un trabajo microscópico al que llamamos calor. Por medio de un video se muestran el comportamiento para cada proceso termodinámico, incluyendo el adiabático, de las variables termodinámicas en graficas VT, PT, Y PV; Un embolo móvil permite</p> <div data-bbox="1219 1713 1435 1906" data-label="Image"> </div>

	<p>comprender si se realiza trabajo, se orienta el aprendizaje con preguntas como ¿toda la energía se usa para alentar?, ¿cuánto trabajo se hace?, ¿quién lo hace?, ¿cambia la energía interna del gas?, Usando herramientas de aprendizaje activo presentar los experimentos demostrativos de pared diatérmica y pared adiabática para diferenciar los procesos adiabático e isotérmico. Presentar experimentos y videos de las formas de transferencia de calor y de algunas maneras de enfriar.</p>
	
Evaluación	<p>Observa el video Cómo Funcionan las Cosas http://www.youtube.com/watch?v=ZQl890ugKcQ&NR=1&feature=fvwp, ¿qué procesos componen el ciclo de funcionamiento de la maquina?, ¿qué tipo de maquina se construyo?, ¿cuál es la fuente de energía?, ¿con que gas funciona?, ¿qué pasa con la temperatura del gas?, ¿y con su energía cinética?, ¿cómo se enfría el gas?, ¿cómo hace trabajo el gas?, ¿qué procesos experimenta el gas dentro del pistón?, ¿en que se transforma la energía que gana el gas?, ¿todo el calor que entra se convierte en trabajo?</p>
Actividad complementaria	<p>Consulta sobre la teoría del Alcahesta, la teoría del Flogisto, la teoría del Calórico, y realiza un escrito de una página donde expresas tu idea del calor en contraste con estas teorías.</p>

2.2.4 Momento 4: Entropía

Tabla.2.7. Guía 7. Entropía

Tiempo estimado	Tres sesiones de 50 minutos
Objetivo	Construir el concepto de entropía desde el punto de vista cualitativo y el concepto de cambio de entropía a través de la comprensión del ciclo de Carnot
Conceptos previos	Temperatura, trabajo, calor, procesos termodinámicos, ciclo
Ayudas didácticas	Video y simulación del ciclo de Carnot,
Discusión	¿Qué es entropía? verla como desinformación, ¿cómo se crea entropía? calentando o expandiendo mostrar ejemplos de cada uno. ¿Por qué la entropía se conserva en el ciclo de Carnot? porque tiene dos ciclos, el de la energía y el de la entropía, mostrar que ambas se conservan.
Metodología	Con métodos de enseñanza tradicional guiar el pensamiento para presentar entropía como desinformación sobre los estados de las partículas que

	<p>conforman un cuerpo, tomado como ejemplo los estados de la materia. El calor como una manera de dar entropía a un sistema y la expansión como una manera de crear entropía usando ejemplos, extraídos del libro de Job, como la expansión libre, la fricción, la nevera. A cada estudiante se le entrega un dibujo en hoja milimetrada del ciclo de ciclo de Carnot, se pide determinar el área bajo la curva de cada proceso del ciclo; Con la finalidad de mostrar la conservación de la energía y de la entropía a través de la comparación de estas áreas, también se hace énfasis en que la relación $\frac{dQ}{T}$ es una medida de la variación de entropía y que en el caso de la máquina de Carnot es cero.</p>
Evaluación	<p>Determinar gráficamente el trabajo realizado en el ciclo de Carnot, cuenta los cuadros.</p> 
Actividad complementaria	<p>Interactúa con el applet http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/carnot/carnot.htm y haz una presentación con pantallazos de cada proceso del ciclo donde comentes, que pasa con la energía interna, con la temperatura, con el calor y con la entropía.</p>

3 APLICACIÓN DE LA PROPUESTA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 El grupo de trabajo

El colegio distrital Fernando Mazuera Villegas se encuentra ubicado en la localidad de Bosa, al sur oriente de Bogotá, más exactamente en la zona de Piamonte, que es un sector tradicional comercial, por lo que la mayoría de estudiantes son hijos de los comerciantes del sector. Aunque el estrato socioeconómico correspondiente a estos lugares es uno y dos, las posibilidades económicas del 80% de la población estudiantil les permiten acceso a libros, fotocopias e internet, además de solventar sus necesidades básicas. Los acudientes de los estudiantes de grado decimo, que no necesariamente son los padres, tienen formación de bachillerato inconcluso (70%) o bachillerato técnico (pues un 20% son egresados del colegio) y profesionales (10%). De acuerdo con su nivel educativo, se ocupan como comerciantes, trabajadores independientes, o empleados en oficios varios por días o en un empleo formal. Dentro de los profesionales, un 4% son docentes en colegios privados de la localidad de Bosa.

El plan de estudios propuesto para ciclo V (grados decimo y undécimo) se centra en cinemática, la mecánica newtoniana, la mecánica de fluidos y la conservación de la energía, para grado décimo, y en fenómenos ondulatorios y electromagnéticos, para grado once, en concordancia con los estándares básicos de competencia del Ministerio de Educación Nacional (MEN). Los fenómenos térmicos no se abordan en este conjunto de grados, aunque el MEN los plantea como tema central para el estudio del entorno físico en los grados octavo y noveno. Además de impartir la formación académica estándar, el colegio se encuentra articulado con el SENA en cuatro modalidades técnicas diferentes a las que se accede en contra-jornada, y el currículo institucional gira en torno al fortalecimiento de las habilidades propias de las modalidades técnicas. Por esta razón, a partir del año 2010 los estudiantes de sexto a noveno reciben una hora semanal de tecnología, que ha entrado a reemplazar una hora de ciencias naturales en la que se impartía física. En consecuencia, los estudiantes de grado decimo no han recibido clase de física alguna antes de este grado, perdiendo la oportunidad de estudiar los fenómenos térmicos.

De acuerdo con el diagnóstico institucional del año 2010 los estudiantes de grado decimo se distribuyen de acuerdo a la modalidad de su interés, esta distribución ha permitido encontrar grupos más avanzados e interesados en las ciencias naturales y las matemáticas (los de modalidad eléctrica o química) y otros grupos con grandes dificultades e imágenes negativas hacia estas

áreas del conocimiento. Se percibe un problema de motivación hacia el estudio y una mala percepción de las ciencias naturales y las matemáticas, evidenciado en los índices de deserción y retención escolar durante los años 2010 a 2012, que se aproximan a un 20% de la población. Como consecuencia se adolece de una cultura científica tendiente a formar la actitud científica en los estudiantes o como mínimo motivación e imágenes positivas de la ciencia y el quehacer científico.

Los 30 estudiantes del curso 1008 de la jornada tarde con quienes se implementa la propuesta durante el primer semestre de 2013 tienen edades entre 15 y 18 años, son de la modalidad electricidad, 28 son hombres y 2 mujeres; en su mayoría se caracterizan por su interés hacia los fenómenos físicos desconocidos, su motivación hacia los experimentos y simulaciones; sin embargo se les dificulta modelar fenómenos a partir de los datos registrados y hacer análisis cualitativo de ecuaciones y graficas. En cuanto a la solución de problemas buscan realizar operaciones mecánicamente, usando la calculadora pero sin analizar porque lo hacen. Aproximadamente el 30% de estos estudiantes presenta dificultades en procesos de lectura y escritura lo cual atenúa la dificultad para construir explicaciones en el contexto físico.

Con relación a las actividades extra clase hay bastante irresponsabilidad pues solo el 10% de los estudiantes las desarrollan a conciencia, un 60% las copia en el colegio y los demás no las realizan. Para mejorar en este aspecto se intento poner tareas virtuales ya que el curso tiene cuenta grupal en redes sociales como *facebook*, sin embargo solo el 3% logro el desarrollo de las mismas. De manera que surge la paradoja de porque si se tiene dominio de las herramientas virtuales no logran hacer una tarea en línea o que requiera de un computador.

Debido a que en la institución no se enseña física en los grados anteriores y los estudiantes que llegaron nuevos al curso dicen no haber visto esta materia antes, se facilita la construcción del conocimiento de manera escalonada, permitiendo introducir uno a uno los conceptos fundamentales para luego abordar los conceptos abstractos. La construcción de conocimiento por este camino implica tomar las ideas intuitivas de los estudiantes para hacer primero un reconocimiento cualitativo de cada concepto y luego llegar a una comprensión cuantitativa del mismo.

A nivel de las matemáticas presentan dificultad en el manejo de proporciones, en el cálculo de operaciones básicas con fracciones, números decimales y cantidades expresadas en notación científica. El 95% no tiene dominio sobre el algebra necesaria para realizar despejes de ecuaciones, en cuanto a la construcción de graficas el 80% las construye con escala adecuada y ubica correctamente parejas ordenadas, además se ha observado buena interpretación de graficas no siendo así para las ecuaciones, sin embargo esta ventaja se aprovechara para el estudio de los procesos térmicos. En cuanto a competencias básicas de lectura el 75% de los estudiantes del curso no ha desarrollado el habito de leer, de manera que sus procesos lecto-escritores de bajo nivel atenúan la dificultad para comprender el lenguajes científico, para conceptualizar y para construir significados coherentes con el saber científico. En este sentido en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física térmica se debe partir de la base que los significados que han construido para conceptos como temperatura, presión, fuerza, trabajo, calor y energía (entre otros) parten de su experiencia de cotidiana.

3.2 Análisis cualitativo del trabajo en aula

Los aspectos positivos y negativos a nivel conceptual evidenciados en el trabajo en aula se presentan de acuerdo a los momentos planteados en la secuencia didáctica.

Tabla 3.1 Análisis cualitativo momento 1


Momento 1: Moléculas, temperatura y presión	
Aspectos positivos	Aspectos negativos
<p>Las simulaciones y <i>applets</i> mostraron ser un camino eficiente para la construcción de una imagen molecular de la materia, facilito observar como la velocidad de las moléculas determina la temperatura y la presión.</p>  <p>Experimentos demostrativos de presión y temperatura facilitaron la construcción de predicciones acertadas para abordar estos conceptos a nivel molecular, además de despertar el interés y la motivación hacia la física.</p>	<p>La compresión del movimiento browniano como evidencia de la existencia de moléculas no se afianzo en los estudiantes pues lo ven como un fenómeno aislado.</p> <p>El 10% de los estudiantes quedo con la idea de que en los sólidos siempre hay estructura cristalina ya que las moléculas están más ordenadas que en los otros estados.</p>

Tabla 3.2 Análisis cualitativo momento 2


Momento 2: Gases ideales	
Aspectos positivos	Aspectos negativos
<p>Un camino eficaz para la comprensión cualitativa de las leyes de los gases ideales resulto ser confrontar las predicciones grupales mediante la observación de los experimentos demostrativos. Ya que lo observado se fija más fácil en esquema mental de los estudiantes.</p>  <p>El trabajo, con la simulación de los gases ideales, facilito la descripción cuantitativa de su comportamiento a partir de los datos presión volumen, volumen temperatura y presión temperatura registrados; La construcción de las graficas correspondientes posibilito establecer reglas de proporcionalidad entre las variables y la determinación de una ley empírica para cada comportamiento. La solución de problemas de gases ideales resulto sencilla para los estudiantes ya que aplicaban sus conocimientos de proporcionalidad para resolverlos.</p>	<p>Hacer las predicciones individuales fue complicado pues los estudiantes tenían la tendencia a comentar con los demás sus ideas y permitían fácilmente que estas fueran sustituidas por las de otro estudiante más aventajado o menos tímido.</p> <p>Comprender la ley general de los gases ideales requiere de un nivel de abstracción al que no se llevo con los estudiantes, pues no logran entender el paso de</p> $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad a \quad \frac{PV}{T} = Nk_B$

Tabla 3.3 Análisis cualitativo momento 3

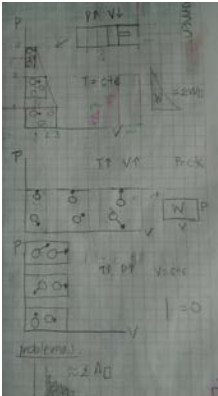

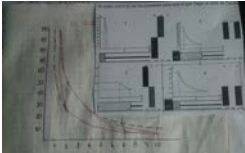
Momento 3: Trabajo, energía interna y calor	
Aspectos positivo	Aspectos negativo
<p>Usar la idea intuitiva de trabajo para levantar bultos permitió la transferencia al concepto de trabajo como variación de energía potencial gravitacional, ya que así como se cobra más por subir más alto, se hace más trabajo entre más subamos.</p> <p>Expresiones como: <i>el calor hace que las moléculas se muevan más, ósea que su velocidad cambia y con ello cambia su energía cinética, haciendo trabajo que no podemos estar seguros como se hizo</i>. Ilustran que el trabajo con simulaciones de dinámica molecular facilita que el concepto de calor como trabajo microscópico que depende las variaciones de energía cinética de las moléculas del gas, sea vidente para los estudiantes. El trabajo con graficas presión volumen para calcular el trabajo en diferentes procesos termodinámicos resulto sencillo para los estudiantes en la medida que lograron determinas las áreas bajo la curva de proceso por el conteo de cuadros en hoja cuadriculada.</p> 	<p>El desconocimiento por parte de los estudiantes de herramientas de cálculo que habrían permitido abordar cualitativamente el concepto de trabajo en procesos termodinámicos.</p> <p>Los experimentos demostrativos no resultaron ser una buena manera para mostrar la diferencia entre un proceso adiabático y un isotérmico, sin embargo el trabajo con applets permitió aclarar estos conceptos.</p>

Tabla 3.4 Análisis cualitativo momento 4

Momento 4: Entropía	
Aspectos positivos	Aspectos negativos
<p>La imagen molecular de los estados de la materia permitió introducir fácilmente el concepto de entropía como desinformación acerca de las posiciones y velocidades de las moléculas, evidencia de ello es que el punto 12 de la prueba 2 EL 80% los estudiantes contestaron correctamente.</p> <p>El ciclo de Carnot permitió aclarar dudas acerca de las variaciones de energía interna que experimenta el gas; Comparar las áreas bajo la curva de cada proceso facilito comprender que la entropía y la energía se conservan y que la máquina de Carnot trabaja porque le sale más trabajo del que entra.</p>  	<p>El tiempo de implementación no fue suficiente para mostrar que la variación de entropía en maquinas reales no es cero; y para abordar en el concepto de entropía como flecha del tiempo para entender los procesos irreversibles.</p>

3.3 Instrumento de medición (pre y post test)

El instrumento de medición tiene como finalidad permitir el análisis cuantitativo de los resultados de la implementación de la secuencia didáctica con los estudiantes del curso 1008 del colegio Fernando Mazuera Villegas jornada tarde. Este instrumento se dividió en dos etapas: Prueba 1 (que consta de 25 ítems), donde se evalúan los conceptos de moléculas, presión temperatura y gases ideales, y Prueba 2 (con 20 ítems), donde se indaga por los conceptos de trabajo, energía, calor y entropía. Con esta agrupación se busca la apropiación de conceptos más intuitivos, evaluados en la prueba 1, para favorecer la posterior acomodación de conceptos abstractos como los indagados en la prueba 2. Adicionalmente las pruebas se dividieron en sub-escalas de acuerdo con los conceptos abordados en cada una.

Tabla 3.5 sub-escalas de las pruebas

	Imagen molecular	1,2,3,4,5
Prueba 1	Temperatura	6,7,8,9,10,11,12,1
Prueba 1	Presión	15,16,17,18,19
Prueba 1	Gases ideales	20,21,22,23,24,25
Prueba 2	Trabajo	1,2,7,8,9,17,18
Prueba 2	Energía	3,4,14,16
Prueba 2	Calor	5,10,15
Prueba 2	Entropía	11,12,13,19,20

3.4 Análisis cuantitativo del trabajo en aula

Los instrumentos de medición se aplicaron en un diseño pre-experiemental con pre-test y post-test en dos etapas. El primer test (de 25 ítems) se aplicó antes y después del desarrollo de las guías correspondientes al estudio del modelo cinético-molecular, los conceptos de temperatura y presión y el tema de gases Ideales. El segundo test (de 20 ítems) se aplicó antes y después de tratar los temas de trabajo, energía interna, calor y entropía.

Aplicando estadística descriptiva se obtiene que las medias del post-test de las pruebas 1 y 2 aumentan con relación a las medias de los pre-test. Los diagramas de cajas y bigotes muestran una mejora evidente en las respuestas de los estudiantes. Se encuentra que para las pruebas de salida la dispersión de los datos es un poco mayor que en las pruebas de entrada. Vale la pena destacar también que los puntajes del pos-test son bastante altos, lo que supone que los estudiantes efectivamente aprendieron la mayor parte de los temas abordados.

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
TotalP1Pre	30	3,00	8,00	5,4667	1,43198
TotalP1Post	29	9,00	22,00	17,6552	3,53832
TotalP2Pre	30	1,00	12,00	6,6000	2,31338
TotalP2Post	30	6,00	20,00	15,2000	3,65211
N válido (según lista)	29				

Tabla 3.6 Estadísticos descriptivos para los totales

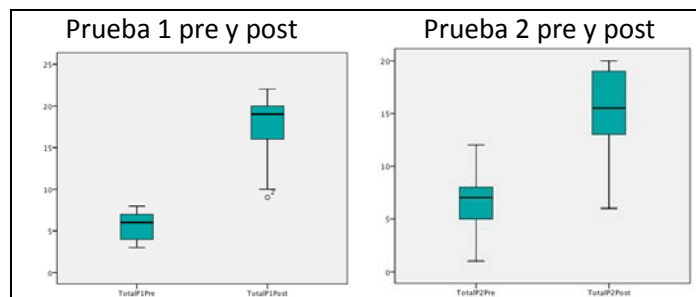


Fig. 3.1 Diagrama de caja y bigotes, para pre y post test de las pruebas 1 y 2

La distribución de las preguntas en el pre y el post test para las pruebas 1 y 2, mostrada en la figura 5.3.3 permite suponer una diferencia significativa entre los resultados antes de la implementación y después de ella.

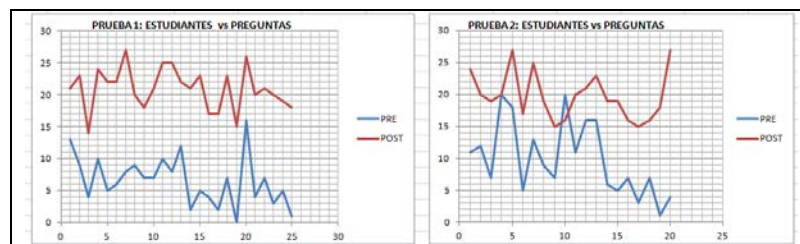


Fig. 3.2 Graficas de puntajes, para prueba 1 y prueba 2

Antes de determinar si esta diferencia de los totales de las pruebas son estadísticamente significativas, se aplica un test de normalidad a través de la prueba Kolmogorov-Smirnov, con la que se corrobora la no normalidad de la distribución, pues el nivel de significancia para las pruebas de entrada y de salida es mayor a 0,05 en todos los casos. Esto nos obliga a utilizar estadísticas no-paramétricas.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TotalP1Pre	,184	29	,013	,915	29	,023
TotalP1Post	,165	29	,042	,858	29	,001
TotalP2Pre	,156	29	,069	,959	29	,318
TotalP2Post	,165	29	,042	,914	29	,021

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Tabla 3.7 Prueba de normalidad para los totales

En consecuencia de lo anterior se aplica prueba de Wilcoxon para determinar si la diferencia de medias es estadísticamente significativa, encontrando que $z \cong -4,7$ tanto para la prueba 1 como para la 2.

Estadísticos de contraste ^a		
	TotalP1Post - TotalP1Pre	TotalP2Post - TotalP2Pre
Z	-4,709 ^b	-4,792 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	,000	,000

a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

b. Basado en los rangos negativos.

Tabla. 3.8 Prueba Wilcoxon para los totales

Finalmente, para los resultados totales se analizó la correlación entre los resultados post-test de las dos pruebas. En principio, se esperaría que los estudiantes con mejores resultados en la prueba 1 tendrían una base más sólida para aprender los contenidos correspondientes a la prueba 2. Sin embargo, el coeficiente de correlación entre ellas, determinado por el método de Spearman para distribuciones no normales, resulta cercano a cero ($\rho = 0,204$), por lo que no se evidencia una correlación significativa entre los dos resultados. Esto puede sugerir que el orden en que se den los contenidos (primero los de la prueba 1 y luego los de la prueba 2) no afecta los aprendizajes, pero esta conclusión requiere ser validada con un estudio futuro de comparación de tratamientos.

Correlaciones		TotalP1Post	TotalP2Post
TotalP1Post	Coeficiente de correlación	1,000	,204
	Sig. (bilateral)	.	,290
	N	29	29
TotalP2Post	Coeficiente de correlación	,204	1,000
	Sig. (bilateral)	,290	.
	N	29	30

Tabla. 3.9 Prueba de Spearman para los totales

Ya que las pruebas aplicadas están divididas en 8 sub-escalas, se realizó con estas el mismo tratamiento que a los resultados totales de las pruebas. Al analizar por estadística descriptiva se encontró que las medias más altas del post-test comparadas con las del pre-test corresponden a las sub-escalas de temperatura, presión, gases ideales y energía. También se evidenció que en ningún caso la media del pre es superior a la del post, lo que sugiere que existe una diferencia significativa entre sus resultados.

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Dev. tip.
P1MoleculasPre	30	,00	4,00	1,3667	,99943
P1MoleculasPost	29	1,00	5,00	3,5517	1,21262
P1TemPre	30	,00	4,00	2,3000	1,05536
p1temppost	30	3,00	9,00	6,7000	1,55696
p1prespre	30	,00	3,00	,6000	,77013
p1prespost	30	,00	5,00	3,1667	1,36668
p1gaspre	30	,00	3,00	1,2000	,80516
p1gaspost	30	1,00	6,00	4,1333	1,40770
p2TraPre	30	,00	5,00	2,0667	1,36289
p2TraPost	30	1,00	7,00	4,4667	1,54771
p2enerpre	30	,00	3,00	1,3333	,88409
p2enerpost	30	1,00	7,00	4,4667	1,54771
p2calopre	30	,00	3,00	1,6000	,89443
p2calopost	30	1,00	4,00	2,6333	,88992
p2entopre	30	,00	3,00	1,6000	1,00344
p2entopost	30	1,00	5,00	3,6333	1,03335
N válido (según lista)	29				

Tabla. 3.10 Estadísticos descriptivos para las sub-escalas

Al hacer una prueba de normalidad para las sub-escalas, se encuentra, como se esperaba, que la distribución de las medias no es normal, por lo que debemos aplicar nuevamente la estadística no paramétrica.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
P1MoleculasPre	,289	29	,000	,868	29	,002
P1MoleculasPost	,196	29	,006	,886	29	,005
P1TemPre	,235	29	,000	,904	29	,012
p1temppost	,198	29	,005	,933	29	,066
p1prespre	,306	29	,000	,747	29	,000
p1prespost	,181	29	,017	,911	29	,019
p1gaspre	,241	29	,000	,858	29	,001
p1gaspost	,199	29	,005	,901	29	,010
p2TraPre	,175	29	,023	,931	29	,057
p2TraPost	,175	29	,023	,937	29	,085
p2enerpre	,305	29	,000	,847	29	,001
p2enerpost	,175	29	,023	,937	29	,085
p2calorpre	,224	29	,001	,881	29	,003
p2calorpost	,283	29	,000	,862	29	,001
p2entropre	,209	29	,002	,880	29	,003
p2entropost	,244	29	,000	,893	29	,007

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Tabla. 3.11 Prueba de normalidad para las sub-escalas

Al aplicar la prueba de Wilcoxon para comparar las medias, se encontró una diferencia significativa en todas las subescalas, ya que z tiene un valor mínimo de -4,047 en la sub-escala Calor y un máximo de -4,801 en Temperatura.

Estadísticos de contraste ^a								
	P1MolPost - P1MolPre	p1temppost - P1TemPre	p1prespost - p1prespre	p1gaspost - p1gaspre	p2TraPost - p2TraPre	p2enerpost - p2enerpre	p2calorpost - p2calorpre	p2entrpost - p2entrpre
Z	-4,307 ^b	-4,801 ^b	-4,569 ^b	-4,688 ^b	-4,665 ^b	-4,643 ^b	-4,047 ^b	-4,656 ^b
Sig. asintót. bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000

a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

b. Basado en los rangos negativos.

Tabla. 3.12 Prueba Wilcoxon para las sub-escalas

Para determinar la correlación entre las sub-escalas se calculó el coeficiente de correlación por el método Spearman, encontrando que las sub-escalas no correlacionan entre sí (un resultado que se comentará en las conclusiones).

Correlaciones											
		P1Mo IPost	p1tem ppost	p1gaspo st	p2Tra Post	p2ener post	p2cal orpost	p2entr opost	Total P1Po st	Total P2Po st	
Rho de Spear man	P1M olec	Coeficiente correlación	1,000	,234	,144	-,080	-,080	,126	-,105	,483 ^{**}	-,033
	ulas	Sig. (bilateral)	.	,221	,457	,681	,681	,513	,588	,008	,867
	Post	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	p1te	Coeficiente correlación	,234	1,000	,172	,186	,186	,266	,164	,688 ^{**}	,295
	mpp	Sig. (bilateral)	,221	.	,364	,325	,325	,156	,388	,000	,114
	ost	N	29	30	30	30	30	30	30	29	30
	p1g	Coeficiente correlación	,144	,172	1,000	,317	,317	,183	,144	,632 ^{**}	,336
	asp	Sig. (bilateral)	,457	,364	.	,088	,088	,334	,448	,000	,070
	ost	N	29	30	30	30	30	30	30	29	30
	p2Tr	Coeficiente correlación	-,080	,186	,317	1,000	1,000 ^{**}	-,020	,227	,161	,927 ^{**}
aPo	Sig. (bilateral)	,681	,325	,088	.	.	,918	,228	,403	,000	
st	N	29	30	30	30	30	30	30	29	30	
Rho de Spear man	p2e	Coeficiente correlación	-,080	,186	,317	1,000 ^{**}	1,000	-,020	,227	,161	,927 ^{**}
	nerp	Sig. (bilateral)	,681	,325	,088	.	.	,918	,228	,403	,000
	ost	N	29	30	30	30	30	30	30	29	30
	p2c	Coeficiente correlación	,126	,266	,183	-,020	-,020	1,000	,019	,135	,253
	alor	Sig. (bilateral)	,513	,156	,334	,918	,918	.	,919	,486	,178
	post	N	29	30	30	30	30	30	30	29	30
	p2e	Coeficiente correlación	-,105	,164	,144	,227	,227	,019	1,000	,181	,412 [*]
	ntro	Sig. (bilateral)	,588	,388	,448	,228	,228	,919	.	,347	,024
	post	N	29	30	30	30	30	30	30	29	30
	Tota	Coeficiente correlación	,483 ^{**}	,688 ^{**}	,632 ^{**}	,161	,161	,135	,181	1,000	,204
IP1P	Sig. (bilateral)	,008	,000	,000	,403	,403	,486	,347	.	,290	
ost	N	29	29	29	29	29	29	29	29	29	
Tota	Coeficiente correlación	-,033	,295	,336	,927 ^{**}	,927 ^{**}	,253	,412 [*]	,204	1,000	
IP2P	Sig. (bilateral)	,867	,114	,070	,000	,000	,178	,024	,290	.	
ost	N	29	30	30	30	30	30	30	29	30	

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla. 3.13 Prueba de Spearman para las sub-escalas

Adicionalmente, se determinó la consistencia y estabilidad de la prueba para hallar los puntajes totales por medio del alfa de Cronbach. Tanto para la prueba 1 como para la prueba 2 se encuentran problemas de fiabilidad en las pruebas, ya que el alfa de ambas está fuera del rango aceptable (0,8-1). Esto quiere decir que cada prueba evalúa más de un constructo.

Prueba 1		Prueba 2	
Estadísticos de fiabilidad		Estadísticos de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos	Alfa de Cronbach	N de elementos
,620	25	,295	20

Tabla. 3.14 Prueba de Fiabilidad

Para ver puntajes por sub-escala y puntaje total en la prueba, a los anexos.

4 Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo se presenta una propuesta didáctica alternativa para la enseñanza de la termodinámica basada en el estudio cualitativo de los conceptos de termodinámica. El objetivo principal fue usar el modelo cinético-molecular para guiar el pensamiento hacia la construcción de conceptos como: temperatura, presión y gases ideales, que luego facilitaron la comprensión de conceptos más abstractos, como: trabajo, energía, calor y entropía. El aprendizaje fue mediado por herramientas didácticas como: simulaciones, *applets* de física, videos y experimentos demostrativos. La secuencia didáctica se implementó con 30 estudiantes de grado décimo del *Colegio Fernando Mazuera Villegas* en la localidad de Bosa, en Bogotá.

Para el análisis cualitativo de la secuencia didáctica se aplicaron dos pruebas que sirvieron como test de entrada y de salida en las dos etapas descritas anteriormente. Los estadísticos descriptivos evidencian una mejora notable en los resultados de los post-test, con respecto a los pre-test. Además, los puntajes máximos de los post-test son bastante altos y sus desviaciones estándar, relativamente bajas. El análisis estadístico de estos resultados muestra un avance significativo en el aprendizaje de los conceptos evaluados, con un $z=-4,709$ para la Prueba 1 y $z=-4,792$ para la Prueba 2, evidenciado además en la interpretación correcta de graficas y leyes experimentales de los gases ideales, en la descripción y explicación de fenómenos térmicos sencillos mostrados a través de experimentos cualitativos y en la diferenciación de conceptos como temperatura, calor y entropía.

Durante la implementación, el docente evidenció, además, cómo el uso del simulador *gasproperties* de la universidad de Colorado como lupa o zoom para mostrar el comportamiento de las moléculas después de observar un experimento demostrativo de temperatura o presión facilita la construcción de una imagen molecular correcta de estos conceptos, que luego facilitó su comprensión casi por asociación con los movimientos moleculares. De la misma manera, la combinación de experimentos demostrativos, el uso de la simulación y la construcción de graficas posibilitaron establecer reglas de proporcionalidad entre las variables de Presión, Temperatura y Volumen que luego se usaron para construir las leyes de los gases ideales y la ecuación de estado. La idea intuitiva de trabajo resultó ser un buen medio para construir los conceptos de trabajo y energía a nivel macroscópico, y el trabajo previo de gases ideales se constituyó en la base para construir estos conceptos a nivel molecular. La construcción y análisis de graficas permitió comprender el concepto de trabajo como *área bajo la curva*, facilitando el análisis de ciclos termodinámicos como el de Stirling. También se evidenció que tener claro el concepto de trabajo, a nivel de los gases, permite comprender el calor como un trabajo microscópico, pero no monitoreado, dado que en los *applets* y en la simulación se observa que aplicar calor significa aumentar la energía cinética del gas. Además, el uso de videos para mostrar las formas de

transferencia de calor resultó ser complementario a los experimentos. Finalmente, la entropía como desinformación fue algo muy fácil de apropiar para los estudiantes en la discusión en clase, al tener un modelo molecular correcto de los estados de la materia y una comprensión previa de graficas de presión vs volumen, que facilitó entender el ciclo de Carnot para definir la variación de entropía.

Al analizar las pruebas por sub-escalas, de acuerdo con los conceptos evaluados en cada una, se esperaba obtener un buen nivel de correlación entre ellas y entre las pruebas 1 y 2. Sin embargo los coeficientes de correlación resultaron ser muy bajos. Igualmente al aplicar prueba de fiabilidad se obtuvieron coeficientes de 0,620 y 0,295, para las pruebas 1 y 2 respectivamente e inferiores para las sub-escalas, resultados que reflejan problemas de consistencia interna asociados al diseño de preguntas y la necesidad de diseñar pruebas estandarizadas para este tipo de estudios.

Debido a limitaciones de tiempo no fue posible profundizar en el concepto de entropía, al punto de que los estudiantes, con herramientas simples de estadística descriptiva y de teoría de probabilidad clásica, logren comprender que el volumen en el espacio de fase crece con las configuraciones posibles de momentum y energía de cada partícula. Este trabajo constituye un reto interesante para el futuro, pues se deben encontrar ejemplos sencillos de conteo que permitan entender, por ejemplo, por qué la entropía crece en N bits si el volumen del gas se aumenta de repente al doble, lo que puede requerir la descripción de ideas sencillas de teoría de información. Sin embargo, estos contenidos se salen bastante de los estándares sugeridos por el MEN.

Al utilizar herramientas TIC, se recomienda profundizar en el trabajo conjunto de experimentos y simuladores o *applets*, ya que los primeros permiten al estudiante hacer una observación objetiva del fenómeno y explorar su capacidad de hacer predicciones correctas; mientras que los segundos son una herramienta llamativa y novedosa para construir sus imágenes mentales a nivel molecular de lo que observó en la realidad de los experimentos. Las Tics le facilitan, además, contrastar sus predicciones a través de los datos simulados tantas veces como lo requiera, para finalmente construir leyes cuantitativas, que se condensan a su vez en expresiones matemáticas que se llena de significado solamente si son capaces de predecir cuantitativamente los experimentos.

Finalmente a nivel de mi formación disciplinar logré un nivel de profundización que me permite enseñar termodinámica por medio de una escalera que posibilita a los estudiantes construir los conceptos de manera sólida, evitando caer en errores conceptuales como no distinguir entre calor y temperatura, o entre calor y entropía, o entre entropía y variación de entropía, descritos en el marco didáctico. A nivel pedagógico, esta experiencia me ha llevado a reflexionar sobre el uso de metodologías que privilegien la comprensión desde el punto de vista cualitativo de los conceptos, antes que su desarrollo cuantitativo, para lograr aprendizajes significativos en los estudiantes.

A. Anexo: Prueba 1

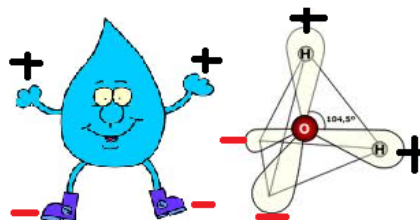
TEST DE TERMODINÁMICA IMAGEN MOLECULAR, TEMPERATURA, PRESIÓN Y GASES IDEALES

Cada ítem tiene una sola opción correcta, que debes marcar en la hoja de respuestas.

1. ¿Cómo se ordenan las moléculas de un líquido?
 - a. Cada molécula ocupa un lugar definido, y vibra alrededor de él.
 - b. Forman pequeños paquetes que chocan y se deslizan unos sobre otros.
 - c. Las moléculas están amontonadas e inmóviles, pero pueden deslizarse.
 - d. Las moléculas se mueven libres, a gran velocidad, chocando contra las paredes y entre sí.

2. ¿Por qué las partículas de tinta se esparcen en el agua?
 - a. Porque tienen la misma carga, y se repelen entre sí.
 - b. Porque las moléculas de agua las atraen más hacia los sitios donde no hay tinta.
 - c. Porque las moléculas de agua las empujan más hacia donde no hay tinta que hacia donde hay tinta.
 - d. Las moléculas de agua las empujan igual en todas direcciones, pero salen más partículas de tinta de donde hay más tinta que de donde hay menos tinta, simplemente porque son más.

3. De acuerdo con la imagen ¿cuántos enlaces puede formar una molécula de agua?
 - a. Dos.
 - b. Uno.
 - c. Cuatro.
 - d. Ninguno.

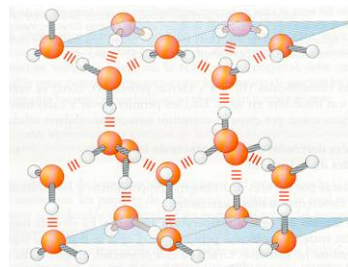


4. ¿Por qué el hielo flota en el agua?
 - a. Porque las moléculas del hielo están más quietas que las del agua.
 - b. Porque el hielo ocupa menos espacio que la misma masa de agua.

- c. Porque el hielo es más denso que el agua.
- d. Porque las moléculas en el cristal de hielo dejan espacios vacíos mayores que en el agua.

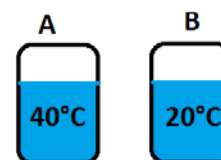
5. ¿Qué pasa con la estructura del hielo cuando se derrite?

- a. No se altera, ya que ocupa el mismo espacio que antes de derretirse.
- b. Se infla, ocupando más espacio que antes de derretirse.
- c. Se destruye, ocupando menos espacio que antes de derretirse.
- d. Se desinfla, ocupando menos espacio que antes de derretirse.



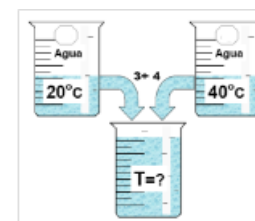
6. Se tienen dos vasos con la misma cantidad de agua, una a 40°C y la otra a 20°C. La velocidad de las moléculas en los vasos A y B

- a. es la misma en los dos vasos.
- b. es el doble en A que en B.
- c. es mayor en A que en B, pero no el doble.
- d. es menor en B.



7. Se tienen dos vasos con la misma cantidad de agua, una a 40°C y la otra a 20°C. Si se mezclan, ¿cuál será la temperatura final de la mezcla?

- a. 60°C, que corresponde a la suma de las temperaturas.
- b. 40°C, que corresponde a la temperatura mayor.
- c. 30°C, que corresponde al promedio de temperaturas.
- d. 20°C, que corresponde a la temperatura menor.



8. Un trozo de metal se ha colocado sobre un trozo de madera y los dos se han dejado encerrados en una habitación fría y sin ventanas durante varias horas. ¿Qué dirías de su temperatura?

- a. la temperatura del metal es menor que la temperatura del trozo de madera.
- b. la temperatura de ambos es la misma que la del ambiente en la habitación.
- c. la temperatura del trozo de madera es menor que la del trozo de metal.
- d. la temperatura de ambos cuerpos es la misma, pero diferente a la del ambiente.

9. Cuando se calienta una lámina bimetálica (hecha pegando dos metales), la lámina se curva, como se ve en la imagen. Esto sucede porque

- a. uno de los metales se contrae y el otro se expande.
- b. los dos metales se expanden, pero uno más que el otro.
- c. los dos metales se contraen, pero uno más que el otro



d. los dos metales se expanden en la misma proporción.

10. Un cubo de hielo a 0°C se está derritiendo, dejando un charco de agua debajo. La temperatura de agua es

- a. igual a la del hielo.
- b. mayor que la del hielo.
- c. igual a la del ambiente.
- d. menor que la del hielo.



11. Imagina que tienes una olla con agua hirviendo en una estufa de gas. Si aumentamos la llama, la temperatura del agua hirviendo

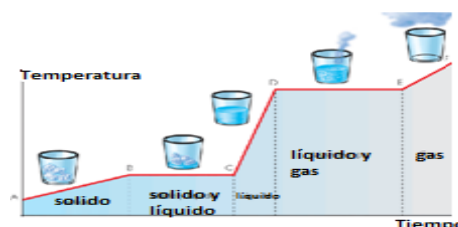
- a. aumenta lentamente, hasta estabilizarse en un nuevo valor.
- b. se mantiene constante, hasta que toda el agua se ha evaporado.
- c. disminuye suavemente, a medida que el agua líquida se evapora.
- d. aumenta constantemente, hasta que toda el agua se evapora.

12. Una forma de hacer helado en tres minutos es poner un recipiente sellado con jugo dentro de una mezcla de hielo con sal, y agitar. Este procedimiento es efectivo porque

- a. la sal hace que la temperatura a la que se derrite el hielo suba.
- b. la sal congela el hielo, y este congela el jugo.
- c. el hielo congela la sal, y esta congela el jugo.
- d. la sal hace que la temperatura a la que se derrite el hielo disminuya.

13. De acuerdo con la grafica, ¿en qué momentos la temperatura de una sustancia no cambia?

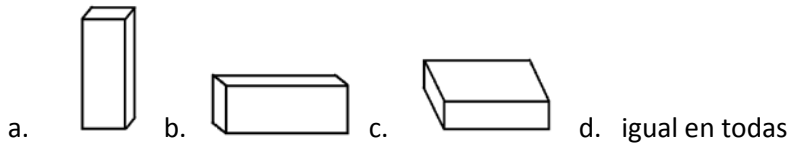
- a. en los estados solido, liquido y gas.
- b. sólo durante la evaporación.
- c. durante los cambios de fase.
- d. sólo durante la fusión.



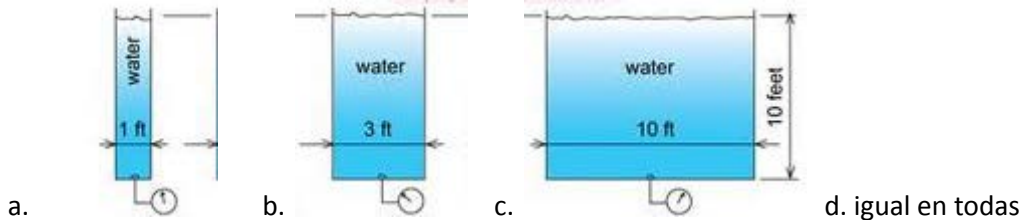
14. El cero absoluto o cero Kelvin es la temperatura a la que

- a. el hielo se derrite.
- b. el hielo con sal se derrite.
- c. las moléculas pierden la capacidad de moverse o vibrar.
- d. las moléculas de cualquier sustancia dejan de existir.

15. Tres bloques que pesan lo mismo se colocan de diferentes maneras sobre el piso. ¿En cuál de las siguientes situaciones los bloques presionan más el piso?



16. En cuál de las siguientes situaciones se experimenta más presión en el fondo de la piscina.



17. Una superficie plana se orienta en diferentes direcciones dentro de un líquido. ¿Cuándo siente mayor presión?

- a. cuando apunta hacia abajo.
b. cuando apunta hacia arriba.
c. cuando apunta hacia un lado.
d. es igual en todas direcciones.



18. Una lata de conserva de paredes muy gruesas se llena con un gas y se sella. Si caliento la lata, las moléculas del gas ganan energía y se mueven más rápido, aumentando

- a. su temperatura y su presión.
b. su temperatura.
c. su presión.
d. su volumen.

19. Cierta cantidad de aire a temperatura ambiente se encierra en una jeringa con paredes aislantes de calor. Al presionar el embolo de la jeringa

- a. la temperatura aumenta, el volumen disminuye y la presión aumenta.
b. la temperatura disminuye, el volumen disminuye y la presión aumenta.
c. la temperatura no cambia, el volumen no cambia y la presión aumenta.
d. la temperatura aumenta, el volumen no cambia y la presión no cambia.

20. Una cantidad de gas se guarda en un termo de paredes rígidas. ¿Qué pasa si agrego más moléculas del mismo gas y con la misma energía al interior del termo?

- La temperatura y el espacio ocupado por el gas son constantes, mientras la presión aumenta.
- Aumentan la temperatura y la presión, pero el espacio ocupado por el gas no cambia.
- La temperatura y la presión aumentan mientras que el espacio ocupado por el gas disminuye.
- La presión, la temperatura y el espacio ocupado por las moléculas de gas aumentan.

21. Se puede hacer un termómetro casero, como el que muestra la figura, tomando una botella rígida y llenándola en parte con agua coloreada y en parte con aire, y tapándola. A través de la tapa se hace un agujero por donde se inserta un tubo de vidrio, que llegue hasta el líquido, y luego se sella todo con plastilina, para que el aire atrapado dentro de la botella no se escape. Cuando el termómetro se mete en agua caliente, la columna de líquido sube porque



- el agua coloreada se expande con el calor, y sube por el tubo.
- el aire dentro del tubo se comprime, dando mayor espacio al líquido.
- el aire dentro de la botella se expande, desalojando al líquido, y aumenta su presión, que sostiene la columna de agua.
- El líquido, al calentarse, puede hacer más enlaces con la superficie interior del tubo de vidrio, y se pega a él, subiendo.

22. Una lata con un poco de agua en su interior se calienta hasta que el agua se evapora completamente. Luego, rápidamente se introduce la lata en agua fría con el orificio hacia abajo. Como resultado la lata se aplasta bruscamente. Esto sucede porque



- antes de meterlo, el aire caliente dentro de la lata tiene la misma presión que el aire frío del medio ambiente. Cuando se mete, el aire caliente, que queda encerrado, se enfría reduciendo su presión, y por lo tanto sobre las paredes es mayor gana la fuerza del aire del medio ambiente que la del aire adentro, y por eso se aplasta.
- la lata queda llena de vapor de agua, que se contrae más que el aire cuando se enfría. Por eso, al meter la lata dentro del agua, el vapor de agua adentro se contrae más rápido que el aire circundante, y por eso la lata se aplasta.
- al evaporar el agua hemos reducido el número de moléculas dentro de la lata. Por eso, al enfriarla, la presión es menor adentro (porque la densidad de moléculas es menor), y por eso la lata se aplasta.
- la presión dentro de la lata es siempre la misma presión de afuera, pero como está a menor temperatura, reduce su volumen sin cambiar la presión. Las paredes se aplastan porque van pegadas al volumen del gas, que se reduce.

23. En un experimento casero se mete un masmelo dentro de una jeringa sin aguja. Cuando jalo el pistón, mientras mantengo tapada la punta de la jeringa, veo que el masmelo se infla. Esto sucede porque
- Al jalar el pistón, se jalan también las paredes del masmelo.
 - El masmelo está lleno de burbujas con la presión normal del aire. Al jalar el pistón, se aumenta la presión de las burbujas dentro del masmelo, y éste se expande.
 - El masmelo está lleno de burbujas con la presión normal del aire. Al jalar el pistón, se reduce la presión del aire dentro del pistón, y las burbujas dentro del masmelo se expanden.
 - Al jalar el pistón, la temperatura del aire disminuye y el agua dentro del masmelo aumenta de volumen.
24. Un globo inflado con aire, que quedó de una fiesta, se mete a la nevera. A medida que se enfría, ¿qué cosas cambian dentro del globo?
- El volumen y el número de moléculas de aire.
 - La presión y el volumen.
 - La temperatura y el volumen.
 - La temperatura y la presión.
25. Cuando metemos en agua caliente una botella a la que se le ha colocado un globo en la boca, el globo se infla. A medida que pasa esto, ¿qué cosas permanecen constantes en el aire encerrado dentro de la botella?

- Únicamente la presión.
- Únicamente la cantidad de moléculas.
- La presión y la cantidad de moléculas.
- La presión y la temperatura.



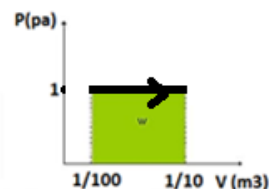
B. Anexo: Prueba 2

TEST N° 2 DE TERMODINAMICA TRABAJO, CALOR, ENTROPÍA

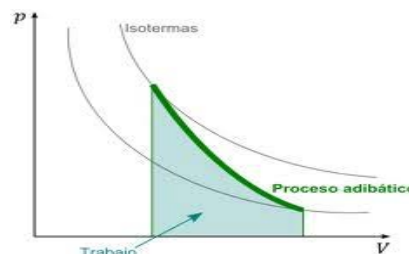
Seleccione una única respuesta por pregunta y márquela en la hoja de respuestas

1. La fuerza mínima necesaria para poder levantar un objeto es
 - a. igual a su masa
 - b. igual a su peso
 - c. mayor a su masa
 - d. mayor a su peso
2. El trabajo realizado para levantar un objeto se almacena en él, en forma de
 - a. energía potencial gravitacional
 - b. energía y trabajo
 - c. energía potencial elástica
 - d. energía cinética
3. Cuando se acelera un cuerpo desde una velocidad cero hasta que tenga velocidad v se ha realizado un trabajo igual a
 - a. $\frac{1}{2}mv^2$
 - b. mgh
 - c. $F \times d$
 - d. $\frac{1}{2}mv$
4. En un gas la temperatura y la energía cinética dependen de la velocidad al cuadrado. Si un gas se encuentra a temperatura T_a la velocidad promedio de sus moléculas es v y si elevamos su temperatura hasta T_b , la velocidad aumenta hasta $2v$, ¿cuánto aumenta la energía cinética E_C del gas?
 - a. $2 E_C$
 - b. $1 E_C$
 - c. $4 E_C$
 - d. $\frac{E_C}{4}$

5. ¿Por qué las cosas calientes se enfrían y las frías se calientan?
- Porque las moléculas calientes son más rápidas que las frías, cuando chocan, las calientes le dan energía a las frías, estas se calientan y las calientes se enfrían un poco.
 - Porque las moléculas calientes son más rápidas que las frías, cuando chocan las calientes le pasan energía a las frías hasta que todas queden con la misma velocidad.
 - Porque las moléculas calientes se mueven y las frías están quietas, al chocar las calientes le ceden su energía a las frías, estas se agitan y las calientes se quedan quietas.
 - Porque las moléculas calientes se mueven y las frías están quietas, al chocar las calientes le pasan un poco de energía a las frías, y todas quedan con la misma velocidad.
6. Cuando los extremos de una barra metálica están a temperaturas diferentes el calor se transmite a lo largo de la barra por
- convección, pues el aire que esta alrededor de la barra circula desde el lado caliente hasta el lado frío transportando el calor.
 - conducción, ya que las moléculas del lado caliente vibran y las del lado frío están quietas, así que las calientes pasan energía a las frías.
 - conducción, ya que las moléculas del lado caliente vibran más que las del lado frío por lo que las calientes pasan energía a las frías.
 - convección, ya que el aire alrededor de la barra circula desde el lado frío hasta el lado caliente transportando el calor.
7. Si para comprimir un gas tengo que hacer trabajo sobre él, ¿qué pasa si el gas se expande?
- Realiza un trabajo $P\Delta V$
 - Realiza un trabajo $F \Delta d$
 - No realiza trabajo
 - Realiza un trabajo $-P\Delta V$
8. De acuerdo con la grafica ¿cuánto trabajo realizó el gas y mediante que proceso lo hizo?
- $\frac{1}{10}$ julios, expansión a presión constante
 - 9×10^{-2} Julios, expansión a presión constante
 - $\frac{1}{10}$ julios, compresión a presión constante
 - 9×10^{-2} Julios, compresión a presión constante



9. De acuerdo con la grafica en cual proceso el gas realiza más trabajo mientras aumenta su volumen.
- En la isoterma de menor temperatura
 - En la curva adiabática
 - En la isoterma de mayor temperatura
 - Entre las dos isotermas



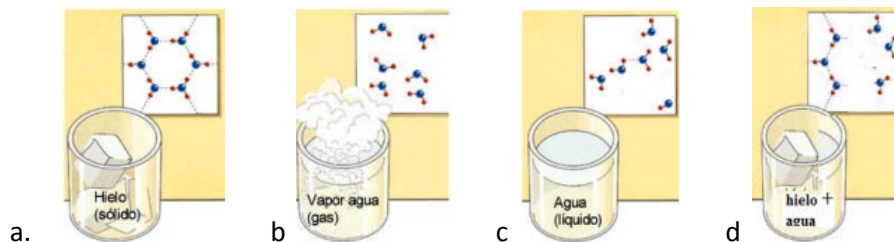
10. La diferencia entre hacer calor y hacer trabajo a un gas es que

- cuando hago trabajo puedo ver el cambio en la posición del embolo y puedo medirlo, mientras que cuando hago calor no se a quien moví porque no puedo estar pendiente de todas las moléculas
- no hay diferencia porque al hacer trabajo y al hacer calor cambia de la misma forma la energía interna de las moléculas.
- no hay diferencia porque al calentar también se hace un trabajo, solo que este es a nivel de las moléculas pero de todas formas lo puedo medir.
- cuando hago trabajo el gas se calienta y cuando le aplico calor el gas hace trabajo, de manera que la medida del trabajo realizado es igual a la del calor entregado.

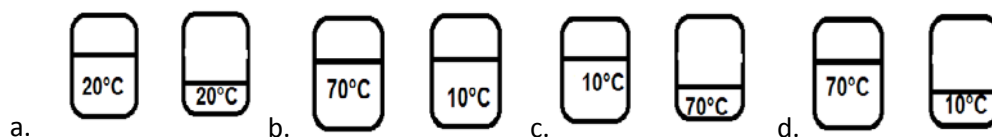
11. Acerca de la entropía es cierto que

- cuando conozco la temperatura de un gas, su volumen y la presión a la que se encuentra, conozco toda la información acerca del gas y por ello su entropía es cero.
- aunque conozca variables como presión, volumen y temperatura, estoy desinformado acerca de la posición y la velocidad de cada molécula, esa desinformación es la entropía del gas.
- siempre es posible saber dónde está cada molécula y la energía que tiene, por eso la entropía de un cuerpo siempre disminuye.
- la entropía me impide saber cualquier cosa sobre el gas, incluso no puedo saber cuánta presión, cuanto volumen y cuanto temperatura tiene el cuerpo

12. En cuál de los siguientes vasos hay mayor desinformación acerca de las posiciones y velocidades de las moléculas

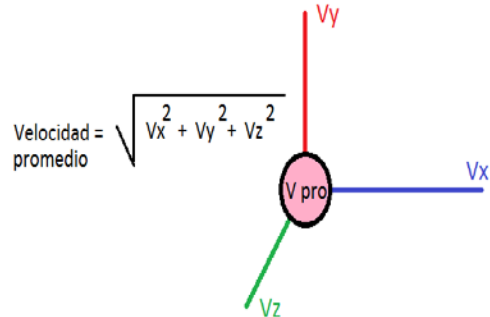


13. La entropía contenida en un cuerpo depende de su masa y de su temperatura, es decir si hay más masa y más temperatura hay más entropía y si por el contrario hay menos masa y menos temperatura hay menos entropía. El esquema que mejor representa esta afirmación es:

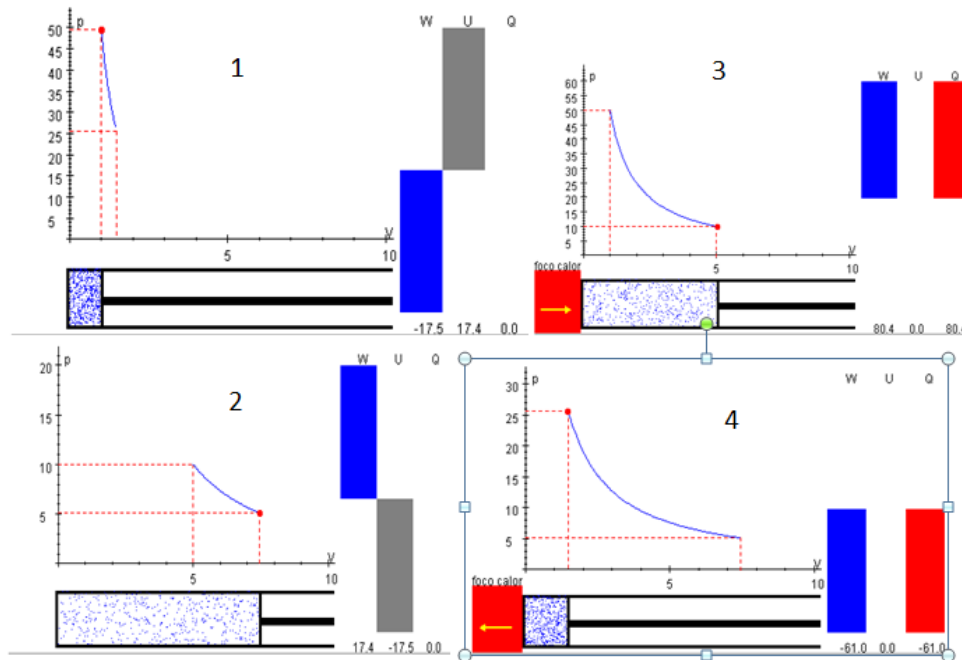


14. La velocidad promedio de un gas de una sola molécula depende de si se mueve en una sola dirección o en varias. Una molécula puede tener velocidad en x en y, y en z siempre que se cumpla que

- v_x, v_y y v_z son iguales a la velocidad promedio
- v_x, v_y y v_z pueden tener muchos valores siempre que $v_{promedio} = v_x + v_y + v_z$
- v_x, v_y y v_z sean todas diferentes de cero
- v_x, v_y y v_z pueden tener muchos valores siempre que $v_{promedio}^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$



Responde las preguntas 15 a 20 de acuerdo con los procesos termodinámicos representados en las graficas



15. El orden correcto de los procesos para que el gas haga un ciclo de Carnot es

- 3,2,4,1
- 1,2,3,4
- 2,3,1,4
- 1,4,2,3

16. En los procesos 3 y 4 la energía interna del gas no cambia porque al permanecer constante la temperatura

- a. solo se realiza trabajo por o sobre el gas
 - b. el trabajo realizado y el calor entregado son iguales
 - c. solo se entrega calor desde o hacia el gas
 - d. no se hace trabajo no se entrega calor desde o hacia el gas
17. ¿Para cuáles procesos del ciclo de Carnot los trabajos son iguales?
- a. Para los de temperatura constante
 - b. En los que no hay flujo de calor
 - c. Para los de expansión y los de compresión
 - d. En los procesos de expansión
18. La máquina de Carnot hace trabajo porque el gas
- a. hace más trabajo para expandirse que el que le hacemos para comprimirlo
 - b. se hace más trabajo para comprimirlo que el que hace para expandirse
 - c. los trabajo de expansión y compresión son iguales
 - d. convierte todo el calor suministrado en trabajo
19. Debido a que al calentar el gas la desinformación (entropía) acerca de sus moléculas aumenta mientras su temperatura no cambia, la variación de entropía del gas es igual a la relación
- a. $\frac{T}{\Delta Q}$
 - b. $\frac{\Delta T}{T}$
 - c. $\frac{\Delta Q}{T}$
 - d. $\frac{\Delta Q}{Q}$
20. ¿Por qué en la máquina de Carnot la variación de entropía es cero?
- a. Porque la relación entre el calor y la temperatura que entran es igual a la relación entre el calor y la temperatura a la que salen
 - b. Porque durante el ciclo no hay flujo de calor que haga aumentar o disminuir la desinformación acerca de las moléculas del gas
 - c. Porque durante el ciclo no hay variaciones de temperatura que aumenten o disminuyan la desinformación acerca de las moléculas del gas
 - d. Porque el calor y la temperatura entrantes son iguales al calor y a la temperatura que salen

C. Anexo: Unidad didáctica para momento 1

Guía 1. Todo está hecho de moléculas

Objetivo: Predecir de manera cualitativa el comportamiento de las moléculas que componen cuerpos en diferentes estados (sólido, líquido, gas)

Estudiante: _____ curso _____ fecha: _____

A. SÓLIDO, LÍQUIDO Y GAS

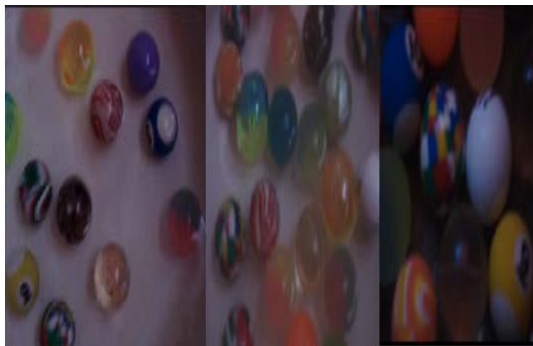
Observa el montaje, ¿dónde hay más temperatura?, ¿dónde se mueven más las moléculas?, ¿dónde están más ordenadas las moléculas?



Observa el video, ¿Cómo se mueven las moléculas en el estado sólido?, ¿cómo es su movimiento en estado líquido?, ¿qué pasa con ellas en el estado gaseoso?, ¿cómo se ordenan en el espacio?, ¿cuándo tienen más energía?, ¿cuándo se desbaratan sus enlaces?



Observa los modelos moleculares de canicas y de botellas, ¿a cuál estado de la materia se asocia cada tipo de movimiento?, ¿cuando se muevan más las moléculas?, ¿qué hace agitar las moléculas?, ¿todas las moléculas se mueven de la misma manera, en la misma dirección e igual de rápido?,



Modelo de la materia con canicas



Modelo de la materia con bolas de icopor

B. MOVIMIENTO BROWNIANO

1. Mira lo que pasa cuando hechas unas gotas de tinta en agua. ¿por qué las partículas de tinta se esparcen en agua? Quién las empuja?, ahora mira el video <http://www.youtube.com/watch?v=IL4atcvxpWE> “movimiento browniano”, y contesta: ¿Quién empuja a las partículas de tinta?, ¿Cómo se mueve cada partícula de tinta?, dibuja el camino que hace cada partícula de tinta. Ahora observemos con el microscopio lo que pasa. Dibuja el camino trazado por una de las partículas de tinta.
2. Si las partículas de tinta son empujadas al azar, igual en todas direcciones, ¿por qué las partículas de tinta van llenando los sitios donde hay menos partículas?, es decir, ¿por qué van de los sitios donde hay más partículas a los sitios donde hay menor concentración?, Observas lo que ocurre al poner unas gotas de tinta en agua caliente y en agua fría. ¿Por qué se difunde más rápido en el agua caliente que en la fría?



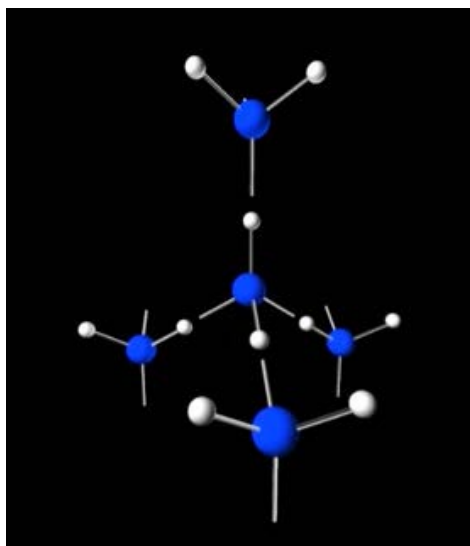
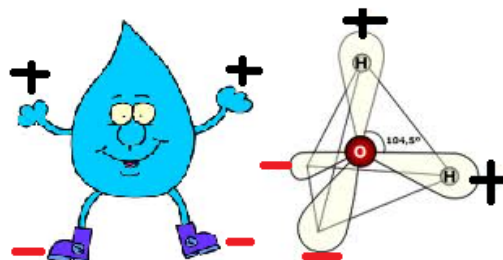
C. CRISTALES

1. Si pones un trozo de madera, un trozo de vidrio, un trozo de plástico y un trozo de papel sobre el agua ¿Cuáles crees que van a flotar?, Si a un vaso con agua le agregas aceite ¿cual flota el agua o el aceite?, si a un vaso con agua le pones un hielo, ¿cuál flota el agua o el hielo?, analiza las fotos y responde. ¿Por qué el hielo

flota en el agua?, ¿qué podrías decir de la estructura molecular del hielo y de la del agua?, ¿Cuál debe ocupar más espacio?



2. Observa los dibujos, ¿qué tiene en común?, ¿pueden ser usados para explicar cómo es una molécula de agua?, Ahora observa los videos <http://www.youtube.com/watch?v=JdKYjMis4ho> “por qué el hielo flota” y “cristales de hielo”, ¿cuántos enlaces puede formar cada molécula de agua?, ¿cuál es la forma de un cristal de hielo?, ¿Qué pasa con la estructura del hielo cuando este se derrite? Representa en un dibujo la estructura de la molécula de agua y la estructura del cristal de hielo.



Indaga acerca de otras formas cristalinas y realiza en casa el siguiente experimento de cristales de sal disponible en: <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/analitic/Asociencia/Cristalizacion.pdf>

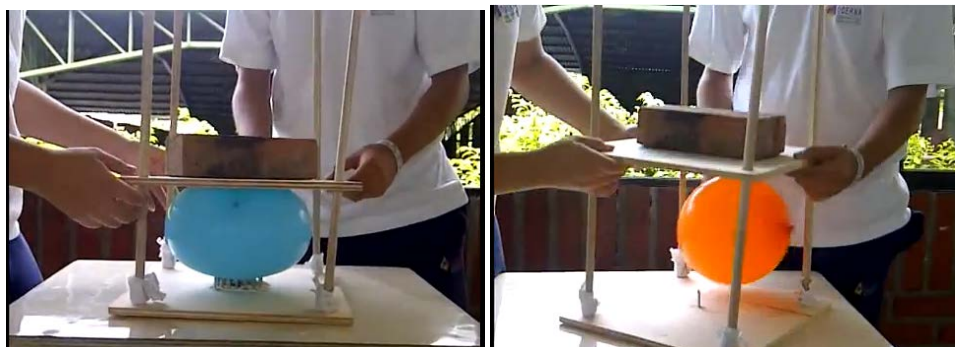
Guía 2. ¿Qué es presión?

Objetivo: Comprender el concepto de presión a nivel macroscópico y microscópico para hacer predicciones correctas de sus efectos sobre los fluidos.

Estudiante: _____ curso _____ fecha: _____

A. FUERZA SOBRE AREA

1. Observa lo que sucede al colocar un globo sobre una puntilla y otro sobre una cama de puntillas y hacer fuerza sobre este. ¿Cómo son las fuerzas realizadas sobre los globos?, ¿Por qué si el globo hace contacto con una sola puntilla se rompe?, ¿Por qué no se rompe el globo que hace contacto con varias puntillas?



2. Observa la primera parte del video <http://www.youtube.com/watch?v=SFclbAe1P1w> la ciencia de presión –proyecto G, ¿se puede hacer mayor presión aunque la fuerza ejercida sea la misma?, ¿Cómo se relaciona la fuerza con la presión y con el área de contacto?, ¿Cuáles son las dimensiones de la presión?
3. Mira experimento y el video <http://www.youtube.com/watch?v=sgwhFIDtTvE> PRINCIPIO DE PASCAL.MPG, ¿por qué el principio de Pascal se conoce como multiplicador de fuerzas?, ¿cómo son las áreas de los émbolos de las jeringas?, ¿qué pasa con la presión al interior del líquido?, ¿este principio puede funcionar con gases?



B. PRESIÓN HIDROSTATICA

1. Observa lo que sucede al ponerse un guante plástico en la mano y sumergirla en un recipiente con agua, ¿Por qué se pega el guante a la mano?, ¿Quién empuja el guante?, ¿esto sucede en todas las direcciones?



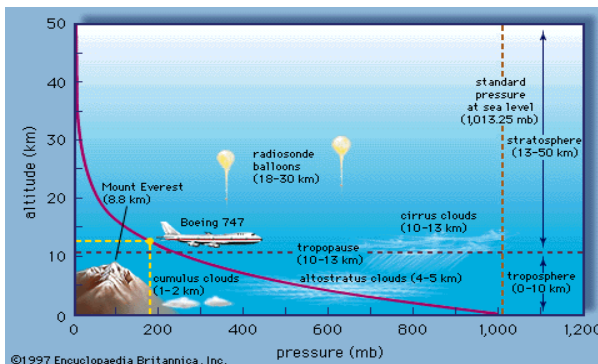
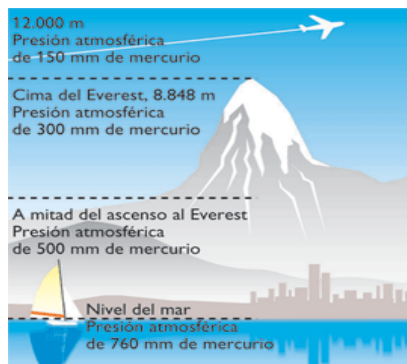
2. Mira lo que ocurre cuando se introduce un buzo, tapa de esféro llena de aire y sellada con plastilina, en una botella llena de agua y este último se presiona, ¿Por qué al apretar la botella el buzo baja y al soltarla sube?, ¿qué está pasando con la presión dentro de la botella?

3. La presión aumenta con la profundidad mientras, ¿Cuál es el valor de la presión a nivel del mar?, si un buzo se sumerge en el agua, ¿Cuánto aumenta la presión que soporta cada 10 metros?, ¿Cuánta presión soporta el buzo sumergido 25 metros en el mar?

0 m	1 atm	100 %
-10 m	2 atm	50 %
-20 m	3 atm	33 %
-30 m	4 atm	25 %
-100 m	11 atm	9 %

C. PRESIÓN ATMOSFERICA

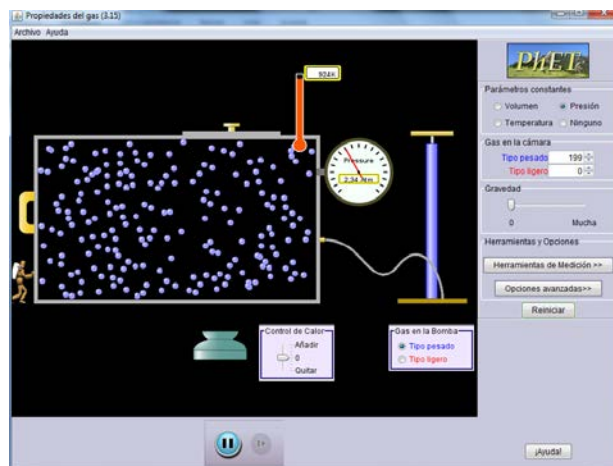
1. Mira la primera parte del video <http://www.youtube.com/watch?v=fohXfTkgU0M> dinámica de la atmosfera, ¿Qué es la atmosfera?, ¿de qué gases está hecha la atmosfera?, ¿la atmosfera pesa?, ¿cómo hace presión sobre las cosas?
2. Mira el video <http://www.youtube.com/watch?v=4699pPYSgsk> BARÓMETRO DE TORRICELLI. Medición de la Presión Atmosférica en mmHg.wmv, ¿quién empuja al mercurio?, ¿cuál es la longitud del mercurio en la columna?, ¿este valor puede ser una medida de la presión que ejerce la atmosfera?, ¿qué es un barómetro?
3. Observa las imágenes que relacionan la presión ejercida por la atmosfera con la altitud, ¿qué pasa con la cantidad de atmosfera que tenemos encima si subimos una montaña?, ¿cómo cambia la presión si vamos a una ciudad costera?, ¿Por qué varía la altura de la columna de mercurio registrada en un barómetro?



4. Construyamos una fuente de agua, necesitas dos botellas pet del mismo tamaño, 3 metros de manguera transparente, un plato de plástico, dos bases de madera, palos de balso. Observa el video y sigue las instrucciones, <http://www.youtube.com/watch?v=XKakxGysMO4>, Como fazer uma fonte de Hieron.

D. LAS MOLÉCULAS HACEN PRESIÓN

Mira el video <http://www.youtube.com/watch?v=vabV5HfvfN0> los gases, ¿cuál es la causa de la presión del gas?, ¿cómo se puede aumentar la presión del gas?.



Observa la simulación Gas Properties, ¿cuándo las moléculas hacen presión?, ¿qué pasa si aumentamos la cantidad de moléculas?, ¿qué pasa si las moléculas son más pesadas?, ¿qué pasa si las moléculas se mueven más rápido, es decir si la temperatura es mayor?, ¿qué pasa si una de las paredes es móvil?, ¿contra quién ejercen presión las moléculas?

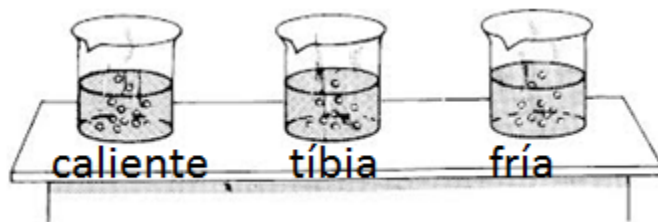
Guía 3. ¿Qué es temperatura?

Objetivo: Comprender el concepto de temperatura desde el punto de vista molecular y el concepto de dilatación como su efecto a nivel macroscópico.

Estudiante: _____ curso _____ fecha: _____

A. CALIENTE, FRÍO Y TERMOMETROS

1. Haz lo siguiente, mete un dedo de una mano en agua fría y un dedo de la otra mano en agua caliente, déjalos allí durante 20 segundos y luego introduce ambos dedos en agua tibia. ¿se tiene la misma sensación de temperatura en ambos dedos?, ¿Podemos confiar en nuestro sentido del tacto para conocer la temperatura de algo?, ¿Cómo medir la temperatura para que sea objetiva la medición?



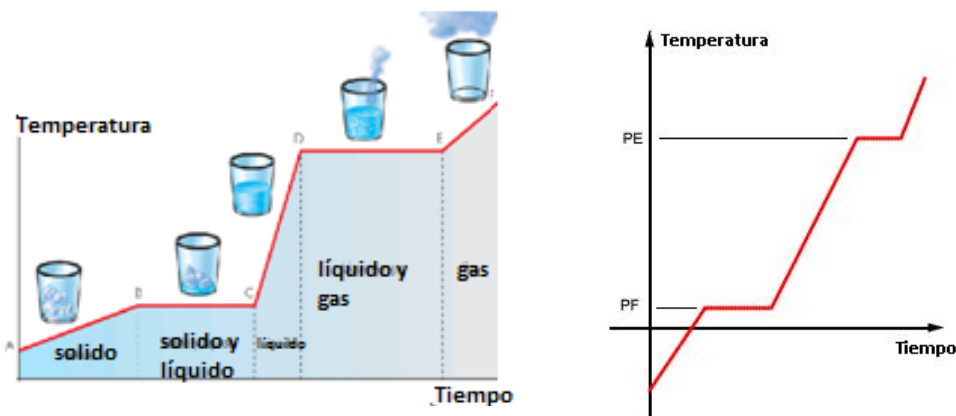
2. Construye un termómetro casero como el mostrado en el montaje, ¿qué hay dentro de la botella?, ¿qué pasa con el líquido dentro de la botella si ponemos el termómetro en agua caliente y luego en agua fría?, ¿qué pasa con el aire dentro de la botella?.
3. Realiza la lectura temperatura y termómetro, del texto Calor y Movimiento, ¿qué tipos de termómetro existen?, ¿cuál fluido se dilata en el termómetro casero el aire o el líquido?, ¿cómo interactúan las moléculas de aire con las moléculas de líquido al interior del termómetro casero?, ¿cuándo el líquido sube y cuando baja?



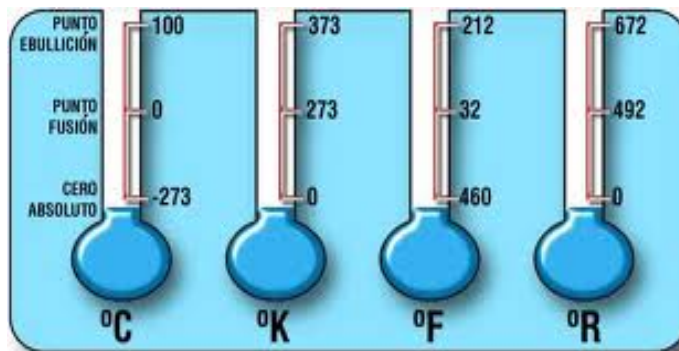
Montaje del Termómetro casero

4. Observa el termómetro de mercurio, ¿Cuándo sube y cuando baja la columna de mercurio?, ¿por qué sube o baja el mercurio?, ¿algo empuja al mercurio para que suba o baje?

4. Observa las graficas, en ellas se muestra la curva de calentamiento cualitativa para cualquier sustancia que se calienta a fuego lento, ¿Qué pasa con la temperatura a medida que avanza el tiempo?, ¿estas graficas son semejantes a la que construiste para el agua y para el alcohol?, ¿la temperatura de fusión y ebullición de todas las sustancias pueden ser iguales?, indaga acerca de los puntos de fusión y ebullición de sustancias como agua, alcohol, mercurio, oxígeno, entre otros y preséntalos en una tabla.



5. Mira el video <http://www.youtube.com/watch?v=m50blvvcR7g> “helado instantáneo”, ahora hagamos helado en el salón, ¿por qué se congela el jugo tan rápido?, ¿Qué pasa con el punto de fusión del hielo al agregarle sal?, ¿Cuál es la temperatura de la mezcla sal-hielo?
6. Mira el dibujo y responde, ¿Qué relación encuentras entre los fusión y ebullición del agua y las escalas de temperatura?, ¿cuáles de estas escalas de temperatura conoces?, ¿cuántos grados tiene cada una de las escalas?, determina los puntos de fusión y ebullición del agua en cada escala

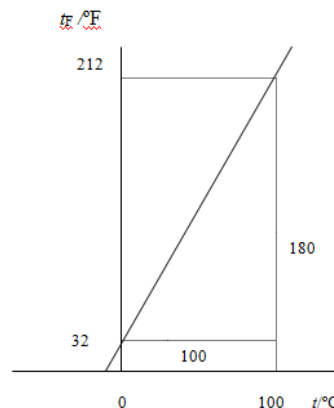


7. Como viste la relación entre las escalas de temperatura es lineal, de manera que se puede representar en graficas como la siguiente:

¿Cuál es el valor de la pendiente de la recta trazada?, ¿Cuál es el valor en que la recta corta al eje vertical?, ¿cuál es la ecuación de la recta trazada?

Ahora construye las graficas $^{\circ}\text{C} - \text{K}$, $^{\circ}\text{F} - ^{\circ}\text{R}$, y determina las ecuaciones de cada recta, ¿fue posible encontrar por medio de las graficas equivalencias entre las escalas de temperatura?

RELACION ENTRE LAS ESCALAS
FAHRENHEIT Y CELSIUS



C. LA TEMPERATURA A NIVEL MOLECULAR

1. Que puede pasar con la temperatura cuando se mezclan dos vasos con agua uno a 20°C y el otro a 60°C . ¿la temperatura de la mezcla puede ser mayor que 60°C ? , ¿la temperatura de la mezcla puede ser menor que 20°C ?, ¿la temperatura de la mezcla puede estar entre 20°C y 60°C ?

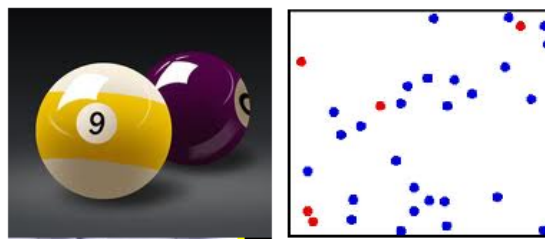


Ahora mezclemos el agua de los vasos y midamos la temperatura. ¿Cuál es la temperatura de la mezcla?, ¿Por qué el agua caliente se enfría y el agua fría se calienta?, ¿Qué crees que paso con las moléculas de agua caliente y que con las de agua fría? Haz dibujos

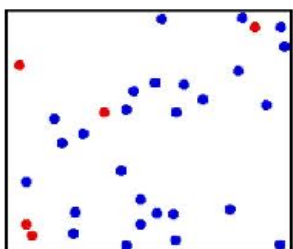
2. Necesitamos un globo y 10 balines, coloca los balines dentro del globo e inflalo y amárralo. Agita el globo tomándolo con ambas manos, ¿qué sientes en las manos? , ¿qué relación tiene esto con la temperatura?, ¿encuentras una relación entre la velocidad de las esferas y la temperatura?, ¿qué relación encuentras entre la energía de movimiento y la temperatura?



3. Mira el video “trucos de billar en cámara lenta” y la simulación “laboratorio de colisiones”, ¿qué pasa con la velocidad cuando una bola rápida le pega a una lenta?, ¿qué pasa con la energía cuando una bola rápida le pega a una lenta?, ¿qué pasa con la temperatura cuando una molécula rápida le paga a una lenta?



4. Mira lo que pasa con las moléculas en la simulación “gas properties”ⁱ, establece relaciones entre, cantidad de moléculas, temperatura, velocidad y energía. registra en una tabla la temperatura y la velocidad media que le corresponde. Completa las oraciones



Temperatura Kelvin	Velocidad media, m/s

- En un gas a _____energía de movimiento _____ se muevan las moléculas.
- A _____velocidad de las moléculas del gas _____temperatura.
- Entre _____masa tengan las moléculas con la misma velocidad, _____temperatura.
- Entre_____ moléculas con la misma velocidad, _____temperatura.

D. Anexo: Unidad didáctica para momento 2

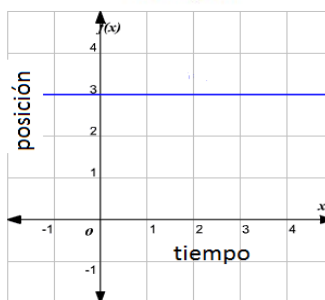
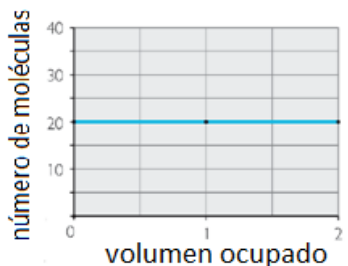
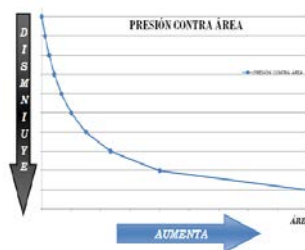
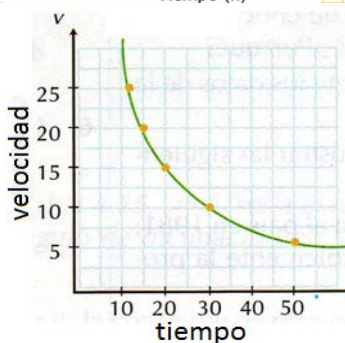
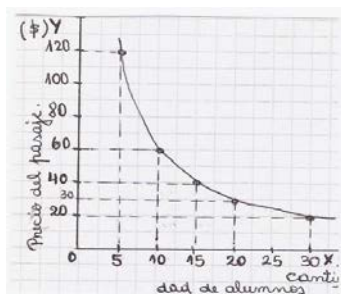
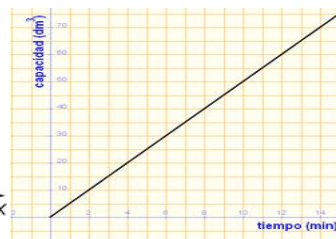
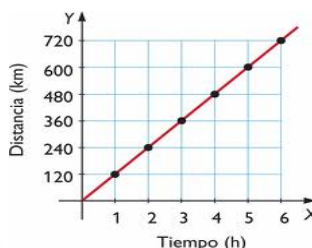
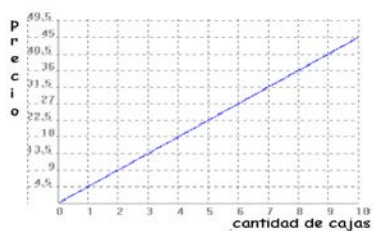
Guía 4. Gases ideales

Objetivo: Predecir de manera cualitativa y cuantitativa las leyes de los gases ideales.

Estudiante: _____ curso _____ fecha: _____

A. INTERPRETEMOS GRAFICAS

1. Mira las siguientes graficas, ¿Qué dirías de acuerdo a su forma?, ¿qué otras magnitudes se puede representar en estas graficas?, ¿qué pasa con las magnitudes en cada grupo de graficas?, ¿la información de las graficas se puede representar de otra forma?, ¿cuál?



B. RELACION VOLUMEN TEMPERATURA LEY DE CHARLES

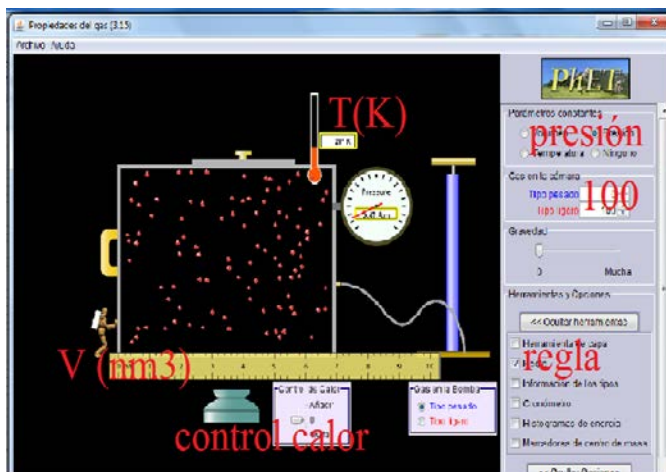
1. Observa lo que sucede cuando se sumerge en agua caliente una botella que tiene un globo en su boca, ¿Por qué se infla el globo?, si colocamos la botella en agua fría ¿qué pasa con el globo?, ¿cómo es la relación entre el volumen y la temperatura en el interior de la botella?



2. Para ver lo que sucede con las moléculas en el experimento anterior, mira lo que sucede en el simulador, Gas Properties. Primero añade a la cámara 100 partículas de gas ligero y selecciona que la presión será igual todo el tiempo. Luego adiciona o extrae energía de las moléculas interactuando con el control de calor, registra en la tabla de valores el volumen ocupado por las moléculas y su correspondiente temperatura.

Tabla de valores V-T

V (nm ³)	T (K)	V/T



3. Construye en papel milimetrado la gráfica o diagrama V-T de acuerdo con los valores de la tabla, ¿Qué te indica la forma de la gráfica?, ¿Qué pasa con la temperatura y con el volumen si la cantidad de moléculas y la presión de estas no cambian?, si haces la gráfica de presión contra el volumen ¿cómo será esta grafica?

4. Observa las graficas y tablas planteadas, ¿cómo es la razón volumen temperatura en cada caso?, ¿se cumple siempre que V_1/T_1 es igual a V_2/T_2 ?, intenta proponer una expresión matemática.

1. Proceso Isobárico (P= constante)					
Tabla de datos V-T		Se expande un gas a presión constante.		<div>DIAGRAMA V-T</div>	
V(ml)	T(°C)				
500	10				
1500	30				
V ₁ /T ₁	V ₂ /T ₂	V ₁ /T ₁	V ₂ /T ₂	V ₁ /T ₁	V ₂ /T ₂
Expresión matemática del proceso isobárico (P = constante)					

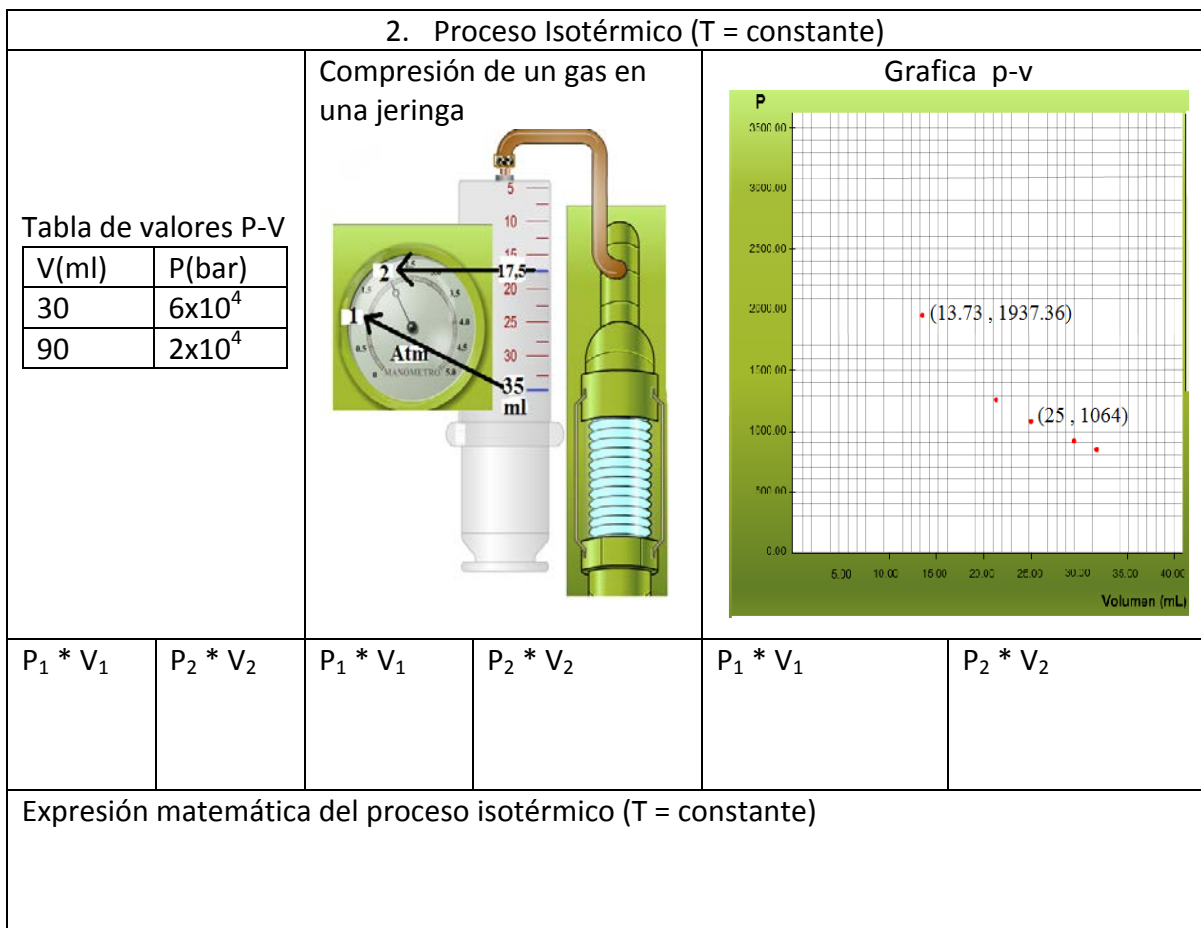
5. Problemas.

- Un volumen de 200 cm^3 de hidrogeno tiene una temperatura de 20°C . Calcula el volumen que ocupara el Hidrogeno a 90°C , si la presión permanece constante.
- Una cantidad de moléculas de argón se reparte en porciones iguales en dos recipientes, uno con capacidad de $0,01 \text{ m}^3$ y el otro con capacidad de $0,03 \text{ m}^3$, se sabe que la temperatura interior del primer recipiente es de 300K introducidas

C. RELACION PRESIÓN VOLUMEN LEY DE BOYLE- MARIOTE

- Observa lo que sucede al introducir un masmelo en una jeringa sellada y apretar el embolo, ¿Por qué el masmelo se encoje?, ¿Cuál es el efecto de la presión sobre el volumen?, ¿Qué harías para que el masmelo se expanda?.

4. Observa las gráficas y tablas siguientes, ¿cómo es producto entre presión y volumen en cada caso?, ¿se cumple siempre que $P_1 V_1$ es igual a $P_2 V_2$?, intenta proponer una expresión matemática.



5. Problemas:

- Un gas ocupa un volumen de 80 cm^3 a presión de 760 mm Hg. ¿Qué volumen ocupará a una presión de 2 Atm. si la temperatura no cambia?
- En un recipiente de 1.5 L se almacena Helio a presión de 380 mmHg, si por medio de un tubo se hace pasar el Helio a un recipiente con el doble de esta capacidad, ¿Cuál será su presión?

D. RELACIÓN PRESION TEMPERATURA: LEY DE GAY LUSSAC

1. Observa que ocurre al prender una vela en el fondo de un vaso y taparlo con un huevo cocinado, al tapar el vaso ¿la cantidad de aires dentro puede variar?, ¿qué pasa con la temperatura del aire al prender la vela y luego apagarse?, ¿qué pasa con la presión del aire cuando la vela esta prendida, y que cuando se apaga?, ¿Por qué el huevo es absorbido por el vaso?



2. Demos una mirada a lo que ocurre con las moléculas de aire dentro del vaso. En el simulador Gas Properties deja constante el volumen, agrega a la cámara 100 partículas de gas ligero, registra los valores iniciales de temperatura y presión en la tabla de valores, adiciona o extrae energía de las moléculas interactuando con el control de calor, ubicado en la parte central inferior del simulador. Registra algunos valores de Temperatura y Presión en la tabla de valores.

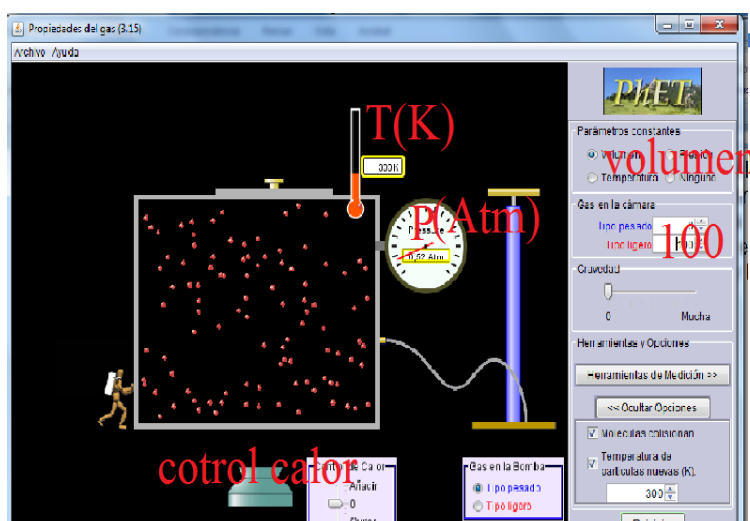
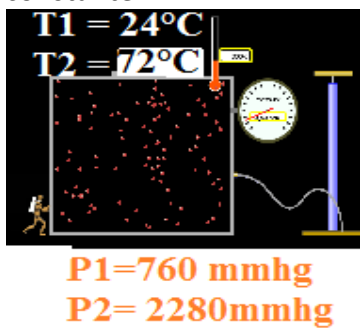
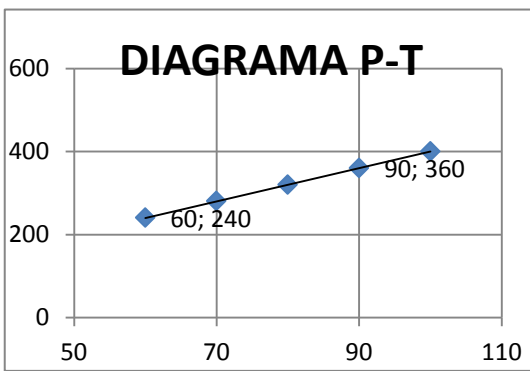


Tabla de valores P-T

P (Atm)	T (K)	P/T

2. Construye la gráfica o diagrama P-T en papel milimetrado, deduce la forma de la gráfica presión contra volumen.

3. Observa las gráficas y tablas del cuadro, ¿cómo es la razón presión temperatura en cada caso?, ¿se cumple siempre que P_1/T_1 es igual a P_2/T_2 ?, intenta proponer una expresión matemática.
4. Observa las gráficas y tablas del cuadro, ¿cómo es la razón presión temperatura en cada caso?, ¿se cumple siempre que P_1/T_1 es igual a P_2/T_2 ?, intenta proponer una expresión matemática.

3. Proceso Isométrico (V= constante)										
Tabla de valores P-T	Experimento a volumen constante									
<table border="1"><thead><tr><th>P(Atm)</th><th>T (k)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0,35</td><td>210</td></tr><tr><td>0,49</td><td>300</td></tr></tbody></table>	P(Atm)	T (k)	0,35	210	0,49	300				
P(Atm)	T (k)									
0,35	210									
0,49	300									
P1/T1	P2/T2	P1/T1	P2/T2	P1/T1						
Expresión matemática del proceso isométrico (V = constante)										

5. Problemas:

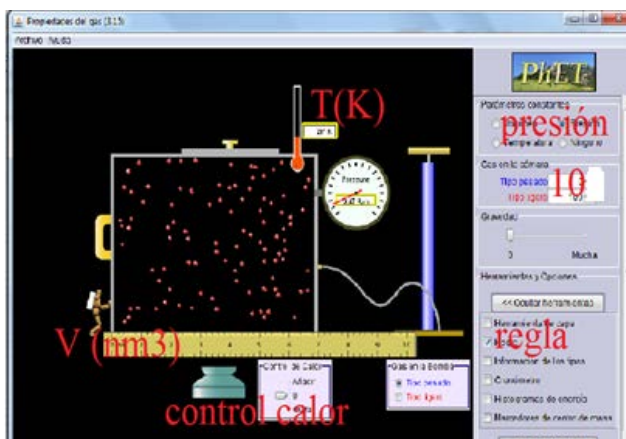
- a. Una cierta cantidad de gas se encuentra a la presión de 750 mm Hg cuando la temperatura es de 25°C. Calcula la presión que alcanzará si la temperatura sube hasta los 30°C.
- b. Un gas a una presión no determinada se encuentra a 50°C, después de suministrarle calor su temperatura es de 250°C y su presión de 500 Tor (mmHg). Calcula la presión inicial del gas.

E. RELACIÓN VOLUMEN NÚMERO DE MOLECULAS: LEY DE AVOGADRO

1. Observa lo que ocurre al colocar un globo en la boca de una botella grande, a la que se le ha hecho un hueco, e inflarlo, ¿Por qué el globo no se desinfla?, ¿Cómo es la presión dentro del globo comparada con la del aire de fuera?, si se deja desinflar ¿Quién empuja al globo, quien lo empujaba cuando estaba inflado?, ¿han variado la presión o la temperatura?, ¿ha cambiado la cantidad de moléculas de aire dentro del globo?, ¿cuál es la relación entre el espacio ocupado y la cantidad de aire?



2. Observa lo que sucede a nivel molecular, en el simulador Gas Properties deja constante la temperatura de las moléculas y la presión, introduce en la cámara 40 moléculas y mide con la regla el espacio que estas ocupan, luego reduce de 10 en 10 las moléculas y registra en la tabla de valores los volúmenes alcanzados en cada caso.



V	N	V/N

3. Construye la grafica, determina la relación volumen numero de moléculas V/N, ¿esta es siempre igual?, ¿Cuál puede ser la expresión matemática para representar la relación encontrada?

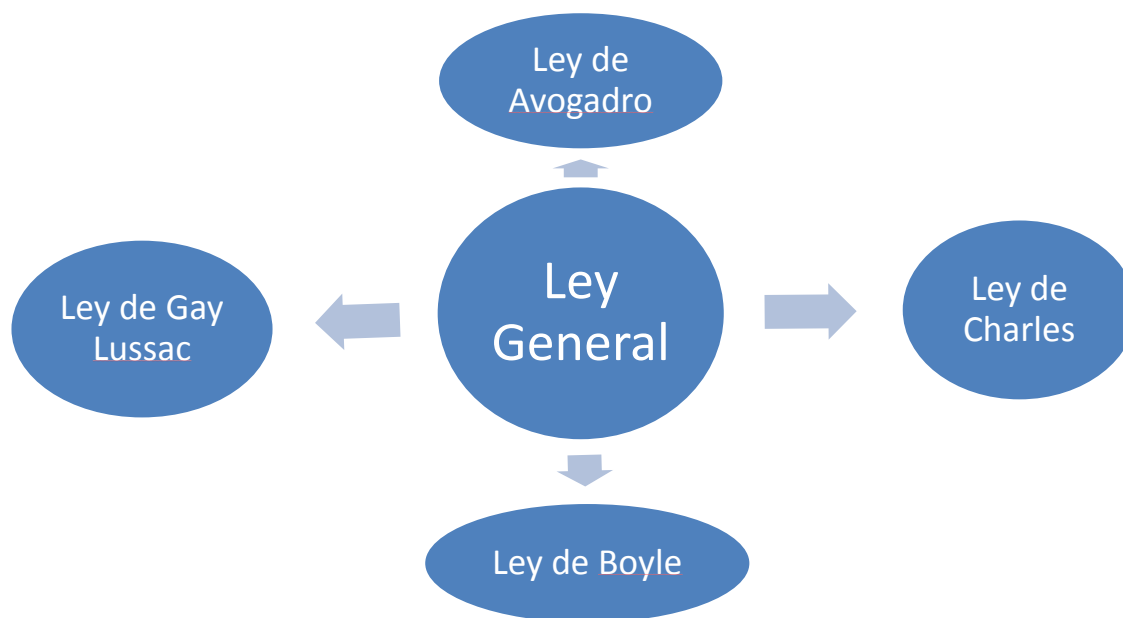
- Problema: 10 moléculas de hidrogeno ocupan un espacio de 5L, cual será l volumen ocupado por el triple de las moléculas que se tenían inicialmente, todas las demás variables se consideran constantes.

F. LEY GENERAL DE LOS GASES IDEALES

- Observa lo que sucede al calentar una lata con gua en su interior, hasta que hierva, y rápidamente introducirla boca abajo en un recipiente con agua helada, ¿Quién aplasto la lata?, ¿Cómo eran el volumen, la presión y la temperatura dentro de la lata antes y como después de sumergirla en al agua helada?, ¿algo permanece igual dentro de la lata?, ¿Qué relación encuentras entre presión, temperatura y volumen?



- Prueba escribir la expresión matemática de las leyes de los gases en cada campo, luego intenta proponer una sola ley que reúna a todas las anteriores y con la que se pueda explicar el experimento de la lata comprimida.



- Hemos encontrado que la proporción entre los valores iniciales de presión, volumen y temperatura es la misma que la de sus valores finales, es decir es un valor **constante k**, esta históricamente esta constante se conoce como **constante de Boltzmann**. De acuerdo con ello completa la expresión general de los gases ideales y luego úsala para resolver algunos problemas.

EXPRESIÓN GENERAL DE LOS GASES IDEALES

$$\frac{P_1}{N_1} = \frac{V_2}{T_2} = k_{\text{Boltzmann}}$$

$$k_{\text{Boltzmann}} = 1,38 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

4. Problemas

- Una cantidad fija de moléculas de un gas ocupa un volumen de 2000 mL en condiciones normales ($P = 1 \text{ atm}$ y $T = 10^\circ \text{C}$). ¿Qué volumen ocupará el gas a 2 atm y 50°C ?
- Un globo lleno de helio tiene un volumen de 1 m^3 a medida que asciende por la atmósfera de la tierra su volumen se expande. ¿Cuál es su nuevo volumen si su temperatura y presión originales son 20°C y 1 atm y su temperatura y presión finales son de -40°C y $0,1 \text{ atm}$?
- En un tanque que contiene un émbolo móvil se introduce helio puro. El volumen la presión y la temperatura iniciales del gas son: $15 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, 20 kPa y 300 K . Si el volumen se reduce a $12 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ y la presión aumenta a 350 kPa , encuentre la temperatura final del gas.
- Un gas ocupa un volumen de 100 cm^3 a 20°C y a una presión de 100 Pa . Determine el número de moléculas de gas que hay en el recipiente, recuerde que $k_{\text{Boltzmann}} = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$.
- En un recipiente de 5 L se introducen 10 moléculas de vapor de agua a una temperatura del recipiente es de 27°C . Calcular la presión que soportan las paredes del recipiente.

E. Anexo: Unidad didáctica para momento 3

Guía 5. Trabajo y energía

Objetivo: Construir cualitativamente los conceptos de trabajo y energía a partir de las ideas intuitivas de los estudiantes.

Estudiante: _____ curso _____ fecha: _____

A. TRABAJO PARA SUBIR Y BAJAR

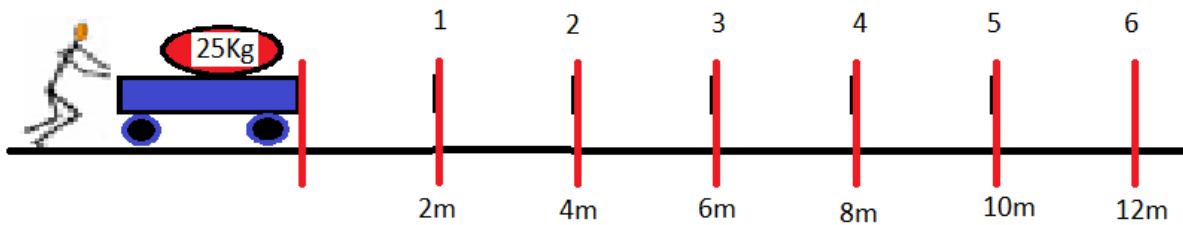
Te contratan para subir bultos a un edificio por cada piso que subas un bulto te pagan \$1000, sabes que cada bulto pesa 25 Kilogramos, que cada piso subes dos metros. Usa la tabla para responder las preguntas.

¿Qué fuerza debes hacer para levantar el bulto?, ¿cuánto cobras para subir un piso?, ¿cuánto si subes hasta el cuarto piso?, ¿Cuánto cobras por subir un piso dos bultos?, ¿cuánto cobras por subir dos bultos hasta el cuarto piso?, ¿cuánto trabajo haces por piso?, ¿cuánto cobras por tu trabajo?, ¿a como estas cobrando el Julio?

	Precio por 1 bulto	Precio por 2 bultos	Fuerza por 1 bulto	Fuerza por 2 bultos	Distancia por 1 bulto	Distancia por 2 bultos	F x d 1bulto	F x d 2bultos
8m 4								
6m 3								
4m 2								
2m 1								
0m								
							\$ por JULIO	

B. TRABAJO PARA DESLIZAR

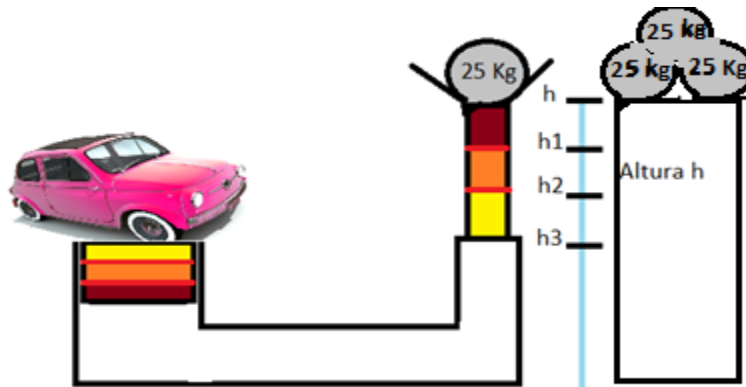
Ahora debes llevar el bulto en un carrito, ¿tienes que hacer la misma fuerza que para levantarlo?, ¿cuánto cobrarías por moverlo dos metros, si la fuerza necesaria es la décima parte de que hacías para subir?, ¿cuánto cobrarías por moverlo el equivalente a 5 pisos?, ¿cuánto por mover dos bultos una distancia equivalente a 5 pisos?, ¿a cómo estas cobrando el Julio?, ¿Cuánto debes trabajar para que te paguen lo mismo que por subir el bulto 1 piso?, ¿trabajas más ahora o cuando subías los bultos?



Julios por 1 bulto						
Julios por 2 bultos						
Julios por 2 bultos						
Julios por 10 bultos						

C. ENERGÍA POTENCIAL GRAVITACIONAL

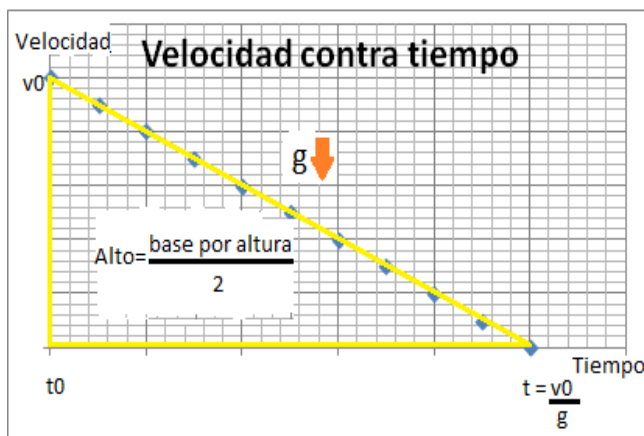
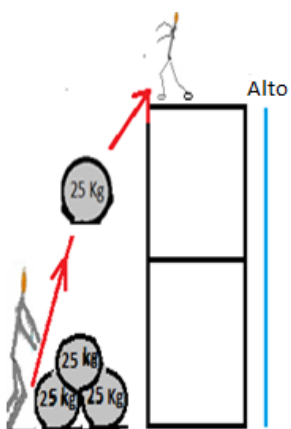
Los bultos que dejaste arriba tienen una energía acumulada que sirve para hacer trabajo después. Si colocas un bulto sobre el embolo pequeño de la prensa hidráulica este hará subir un poco el carro que está en el embolo grande, ¿quién hace la fuerza?, ¿cuánta fuerza hace?, ¿cuánta energía tiene guardada?, ¿cuánta altura pierde el bulto?, ¿cuánto trabajo hace?, si el embolo ya estaba abajo y pongo otro bulto, ¿cuánto trabajo hace ahora?



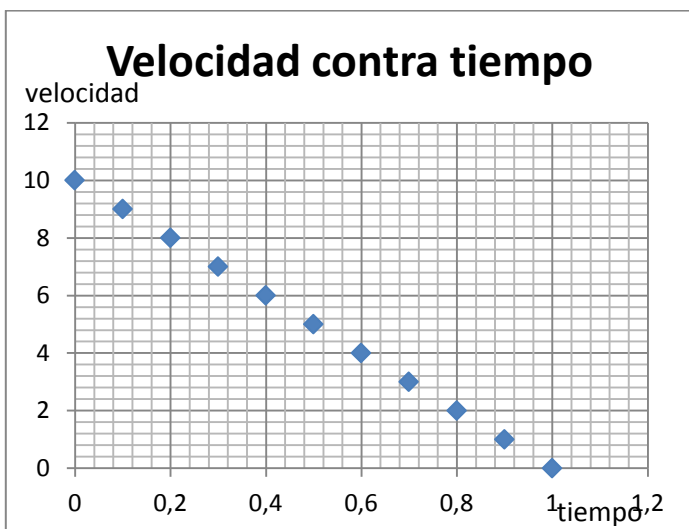
Kilogramos	Metros por segundo ²	Metros	Julios	Julios
Masa	Gravedad	Altura	Energía potencial gravitacional = mgh	Trabajo = $mgh_2 - mgh_1$

D. ENERGÍA CINÉTICA

Si te pagan por lanzar los bultos desde el piso hasta arriba del edificio, ¿cuánto cobrarías?, ¿debes cobrar por levantar el bulto o por hacerlo llegar arriba?, ¿cómo va cambiando la velocidad del bulto?, ¿cuál es la velocidad con que se lanzó?, ¿cuánta altura alcanza?, ¿cuánta energía acumula tan pronto es lanzado?, ¿cuánta energía tiene al llegar arriba?

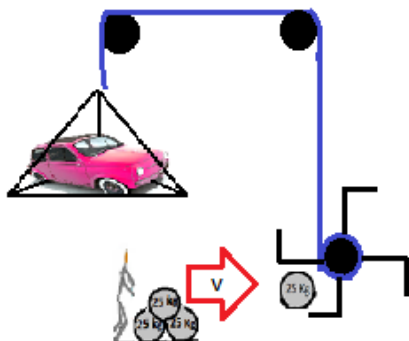


Compara la energía potencial y la energía cinética para el bulto de la grafica, ¿a qué altura subió el bulto?, ¿con cuanta velocidad fue lanzado?, ¿son iguales las energías?, ¿cuándo tiene energía cinética?, ¿cuándo tiene energía potencial?, ¿cuánto cobrarías por tu trabajo?



m	mgh
g	
h	
m	$mv^2/2$
v*v	

La energía cinética guardada en el bulto cuando se está moviendo se puede usar para hacer trabajo, si el bulto ya se movía con velocidad $v_1 = 4\text{ m/s}$ y tu solo lo aceleras a una velocidad $v_2 = 5\text{ m/s}$, ¿cuánto trabajo hice?

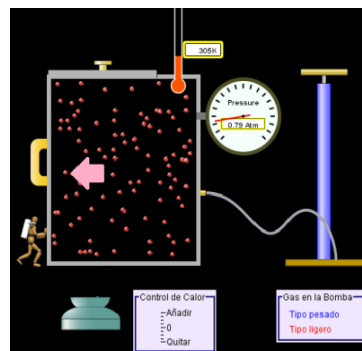


Energía cinética $= \frac{mv_2^2}{2}$	Energía cinética $= \frac{mv_1^2}{2}$	Trabajo= $\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$

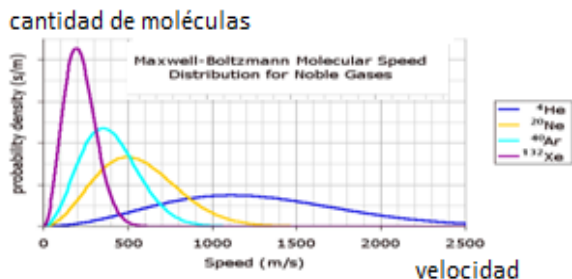
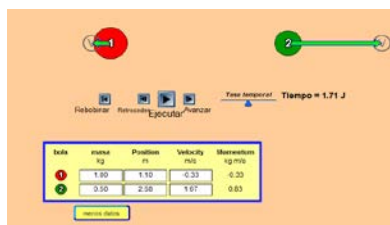
E. TRABAJO EN LOS GASES

Observa la simulación veras que en un gas la temperatura aumenta si la energía cinética aumenta y esta crece si las moléculas se mueven más rápido, ¿cuánto cambia la temperatura si la velocidad se duplica?, ¿cuánto es la energía cinética si la velocidad se duplica?,

Temperatura En Kelvin	Velocidad cinética promedio	Energía cinética $\frac{3}{2}k_bT$
600		
400		
300		
200		
150		
100		
75		
50		

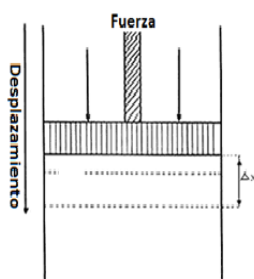


Observa lo que sucede al poner en contacto un gas frío con un gas caliente, ¿por qué las moléculas calientes se enfrían y las frías se calientan?, ¿cómo son los choques entre moléculas?, ¿todas las moléculas tienen la misma velocidad?,

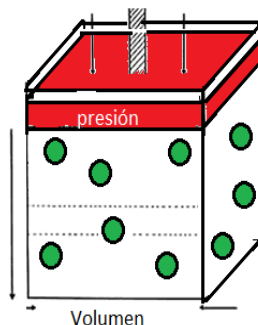


Cuando las moléculas chocan contra el embolo lo hacen mover, entonces realizan trabajo, en el dibujo se muestra una forma de medir el trabajo realizado por o sobre las moléculas de gas, ¿cuál es la mejor manera de medir el trabajo a nivel molecular?, ¿por qué las expresiones “Trabajo = Fuerza x Desplazamiento” y “Trabajo = presión x Volumen” son equivalentes?, ¿el trabajo se puede representar en una grafica de Presión contra volumen?, ¿esta grafica tendrá siempre la misma forma?, ¿si el volumen no cambia es posible realizar trabajo?, ¿si la presión no cambia que pasa con el trabajo?, ¿cómo es el trabajo si la temperatura del gas no cambia?, ¿qué pasa con la energía cinética del gas si el trabajo es cero?

Trabajo = Fuerza por distancia

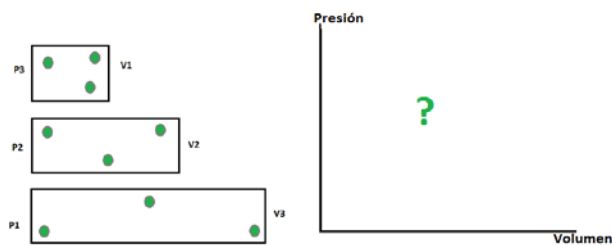


Trabajo = Presión por Volumen

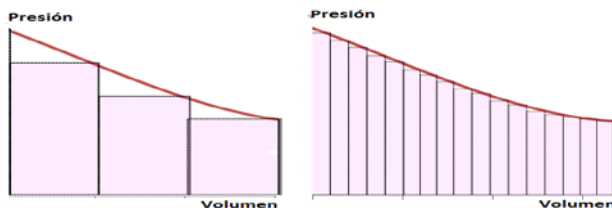


F. PROCESOS TERMODINÁMICOS

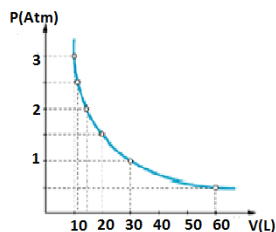
De acuerdo con la ley de Boyle en un gas ideal la presión disminuye y el volumen aumenta si la temperatura no cambia, a este proceso se le llama **isotérmico**, ¿al ser constante la temperatura qué está pasando con la energía cinética de las moléculas?, ¿se está realizando trabajo?, ¿cómo es la grafica P-V que representa este proceso?, ¿el área bajo la curva tiene una forma fácil de calcularse?, ¿cómo la calcularías?



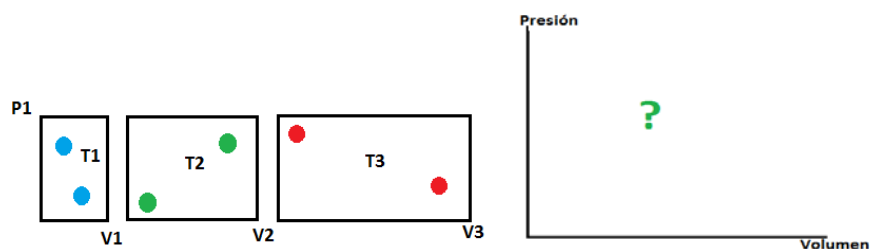
Divide el área en rectángulos, ¿qué pasa si se divide en área en más rectángulos?, ¿Cuál es la mejor forma para encontrar el valor del área?, ¿esta área corresponde al trabajo realizado?, ¿cómo determinarías quien realizo este trabajo?, ¿los trabajos para expandir y para comprimir el gas son los mismos?,



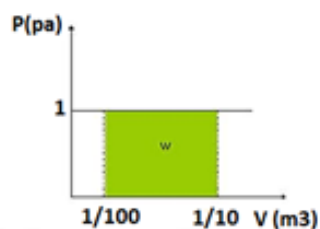
Halla el trabajo realizado para comprimir el gas de la grafica, ¿quién realizo trabajo?, ¿es positivo o negativo?



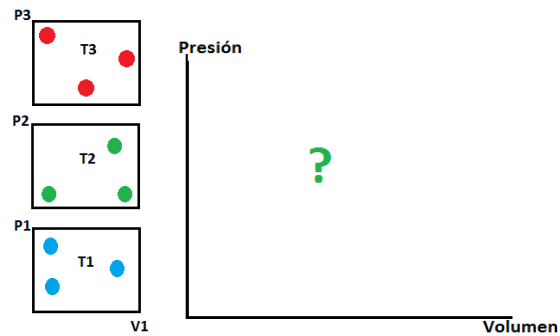
Otro comportamiento de los gases ideales consiste en que al aumentar la temperatura el gas se expande, aumentando su volumen. Esta es la ley de Charles que se cumple cuando la presión del gas no cambia. ¿Cuándo las moléculas ganan energía cinética?, ¿Qué pasa con la temperatura?, ¿en este caso se realiza trabajo para expandir y para comprimir el gas?, ¿quién hace estos trabajo?, ¿cómo los calcularías?, presenta este proceso en una grafica P-V, ¿qué forma tiene el área bajo la curva?



Halla el área bajo la curva en la grafica, ¿los trabajo para expandir y para comprimir el gas son los mismos?, ¿qué está pasando con la temperatura y con la energía cinética del gas?

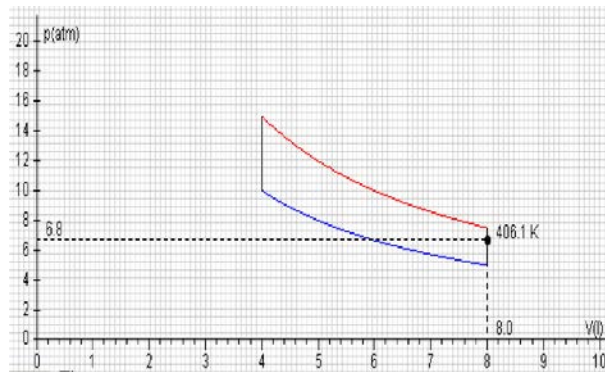
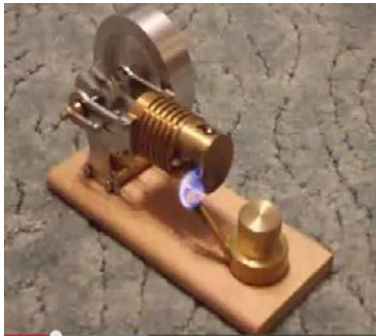


Un proceso más que se puede hacer sobre un gas ideal es aumentar su temperatura para que su presión aumente pero sin sufrir cambios en el volumen, esto se conoce como la ley de Gay Lussac. Representa el proceso una grafica presión contra volumen, ¿es posible calcular un área?, ¿si el gas no se expande ni se comprime se ha realizado trabajo?, ¿en qué se invierte la energía que han ganado las moléculas?, ¿se ha realizado trabajo?



G. MOTOR STIRLING

Observa el video <http://www.youtube.com/watch?v=qWWQGvinJA0> y la simulación <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica//estadistica/termodinamica/stirling/stirling.html>, dibuja la grafica presión volumen correspondiente al ciclo Stirling



¿De qué procesos se compone el ciclo?, ¿cuánto trabajo se realiza en cada proceso?, ¿qué pasa con la energía del gas en cada proceso?, ¿qué trabajo hace el gas durante todo el ciclo?, determina el área de la gráfica, presión volumen, correspondiente al trabajo realizado por el gas en el ciclo Stirling.

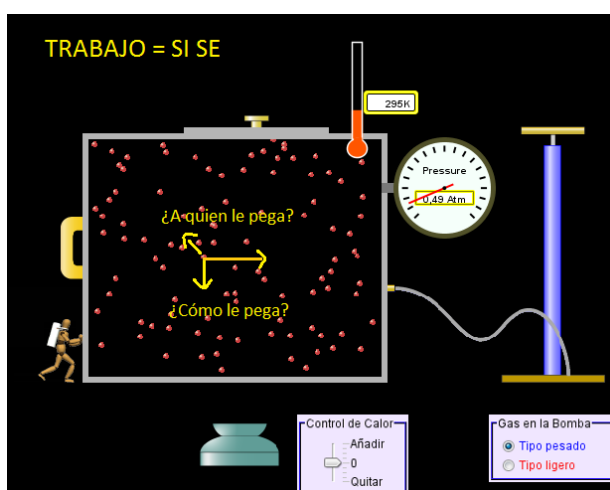
Guía 6. ¿Qué es el Calor?

Objetivo: Comprender cualitativamente el concepto de calor para hacer predicciones correctas acerca de los procesos termodinámicos.

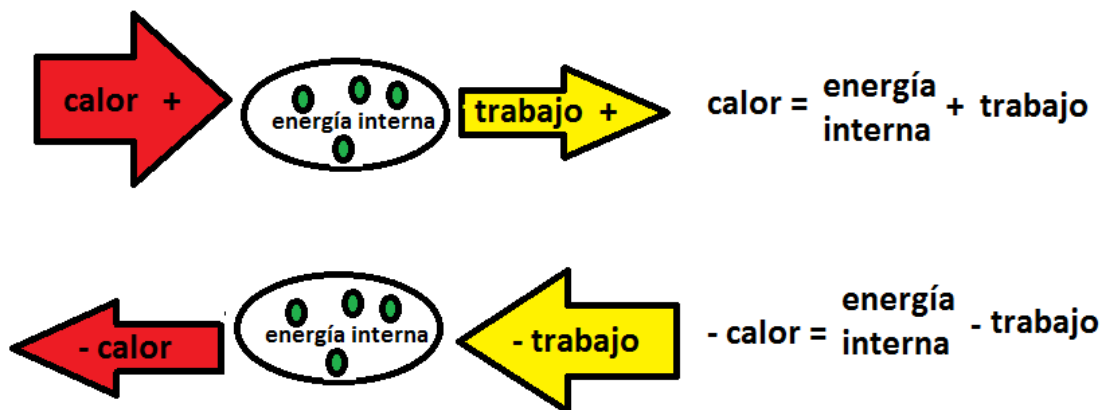
Estudiante: _____ curso _____ fecha: _____

A. ¿QUÉ ES CALOR Y QUÉ ES TRABAJO?

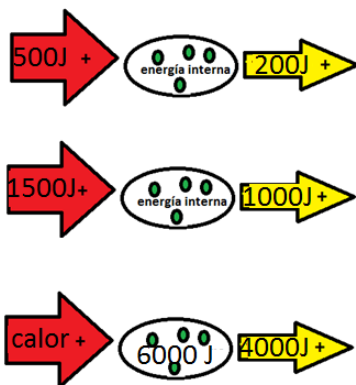
Observa la simulación, si estas pendiente ¿puedes saber exactamente a quien le pego cada molécula del gas?, ¿cómo le pego?, ¿cuánto lo desplazo?, ¿cuál es su velocidad antes y después del choque? Por otro lado puedo saber ¿cuánto es su temperatura?, ¿cuánto es su velocidad promedio?, ¿puedo medir cuánto se desplaza el embolo?



¿Lo que entra como calor es lo mismo que sale como trabajo?, ¿en que se convierte el calor suministrado al gas?, ¿qué se necesita para aumentar la energía interna del gas?, ¿qué se requiere para disminuirla?, ¿cuánto trabajo debe hacer y cuanto calor se debe entregar para que la energía interna de gas no cambie?



Determina la variación en la energía interna del gas en cada caso:



Entonces cuando calentamos un gas pueden pasar varias cosas a la energía de sus moléculas, puede variar para.

solo hacer trabajo
solo calentar
hacer trabajo y además calentar

Observa el video <http://www.youtube.com/watch?v=1uvtfegSMs> Procesos termodinámicos, ¿por qué se expande y se comprime el gas?, ¿cuándo hacen trabajo las moléculas?, ¿cuándo se hace trabajo sobre ellas?, ¿se calienta el gas?, ¿cómo cambia la energía cinética del gas?, ¿qué pasa con la temperatura?

PROCESO ISOMÉTRICO

La energía interna del gas aumenta.

PROCESO ISOBÁRICO

La energía interna del gas aumenta.

PROCESO ISOTÉRMICO

La energía interna del gas es constante.

PROCESO ADIABÁTICO

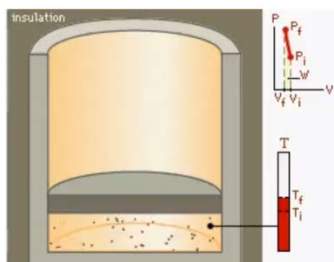
La energía interna del gas aumenta.

1. ¿Cuánto trabajo hice?, ¿Cuánta energía use para calentar?
2. ¿Cambio la temperatura?
3. ¿Cambio la energía cinética por partícula?

Completa la tabla teniendo el comportamiento del gas en cada ciclo termodinámico, recuerda que el $\text{cambio en la energía interna} = \text{calor} - \text{trabajo}$

	¿Se calienta?	¿Cuánto trabajo hace?	¿Cómo cambia la energía del gas?
Isobárico			
Isotérmico			
Isométrico adiabático			

Un ejemplo conocido donde un gas se expande sin enfriarse ni calentarse, es la expansión adiabática mostrada en el video L19 Lab1 <http://www.youtube.com/watch?v=b6SZl88Odmw>. Para comprender lo que sucede con el gas en un proceso adiabático observa el video adiabático. MOV <http://www.youtube.com/watch?v=baSl9wLNXeQ>, ¿por qué aumenta la temperatura del gas si no se está suministrando calor?, ¿por qué sabemos que el gas hace trabajo?, ¿qué pasa con la energía interna del gas?, ¿en qué momento se hace trabajo sobre el gas?, ¿por qué sabemos que el gas no se calienta?

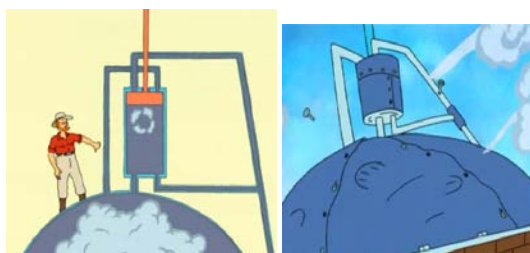


	¿Se calienta?	¿Cuánto trabajo hace?	¿Cómo cambia la energía del gas?
Adiabático			

Observa los experimentos: Pared adiabática y Pared diatérmica, ¿para qué sirven estas paredes?, ¿gracias a la pared que no cambia en el agua del recipiente B?, ¿en qué caso varía la energía interna del agua?, ¿en qué caso la energía interna del agua no cambia?, ¿en cuál se enfría el agua de b y se calienta la del exterior?



Observa el video <http://www.youtube.com/watch?v=ZQl890ugKcQ&NR=1&feature=fvwp>, ¿qué procesos componen el ciclo de funcionamiento de la máquina?, ¿qué tipo de máquina se construye?, ¿cuál es la fuente de energía?, ¿con qué gas funciona?, ¿qué pasa con la temperatura del gas?, ¿y con su energía cinética?, ¿cómo se enfría el gas?, ¿cómo hace trabajo el gas?, ¿qué procesos experimenta el gas dentro del pistón?, ¿en qué se transforma la energía que gana el gas?, ¿todo el calor que entra se convierte en trabajo?



Consulta sobre la teoría del Alcahesta, la teoría del Flogisto, la teoría del Calórico, y realiza un escrito de una página donde expreses tu idea del calor en contraste con estas teorías.

B. ¿CÓMO FLUYE EL CALOR?

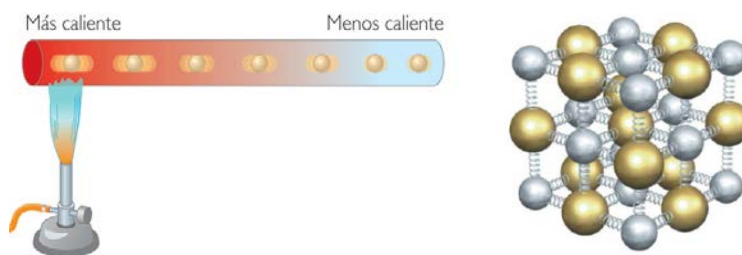
Para calentar un gas, tengo que aumentar la velocidad de las moléculas y eso se puede hacer de tres formas:

CALENTAR POR VIBRACIÓN

Mira lo que sucede cuando se calienta una lámina metálica que se ha cubierto con parafina, ¿Por qué la parafina no se derrite toda al mismo tiempo?, ¿qué pasa con las moléculas de la lámina y de la cera?



Observa los dibujos y el video <http://www.youtube.com/watch?v=csVKkffcPkl>, ¿cómo se mueven las moléculas de un sólido para transmitir el calor?, ¿por qué no hay desplazamiento de moléculas en el sólido?, ¿las moléculas hacen trabajo?

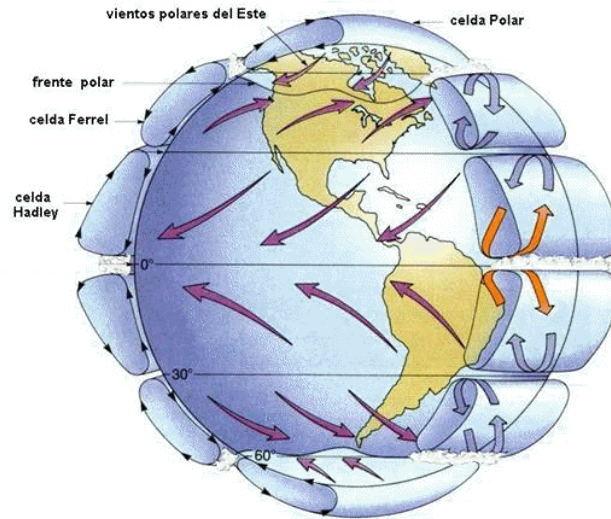


CALENTAR POR MOVIMIENTO DE MASA

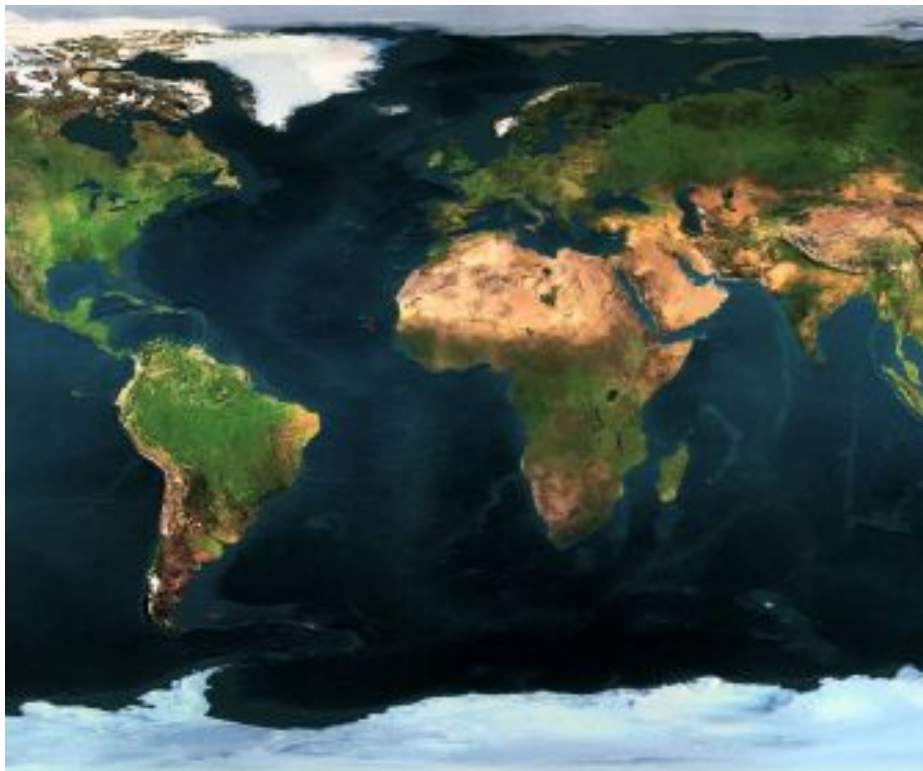
Hagamos sopa, agrega alverjas al agua recién puesta al fogón, ¿la temperatura del agua es la misma en todas partes?, ¿esto tiene que ver con el movimiento de las alverjas?, ¿qué las mueve?, ¿por qué se mueven?



Observa los videos, http://www.youtube.com/watch?v=SxUj_vOXRvg, Corrientes Convectivas do Manto y <http://www.youtube.com/watch?v=DGzGhAepgso>, Circulación General del Aire, ¿Cómo se transporta el calor?, ¿por qué hay flujo de calor?, ¿de dónde a donde fluye el calor?, ¿cuál es el efecto de la convección en la formación de continentes?, ¿cómo se relaciona la circulación global del aire con el clima de la tierra?



De acuerdo con las celdas de convección, conocidas como células de Hadley, ¿en cuantas zonas se divide el clima en el planeta?, ¿en que partes del globo encontramos selvas?, ¿en que parte desiertos?, ¿cuáles son la zonas de paramo donde llueve con frecuencia?

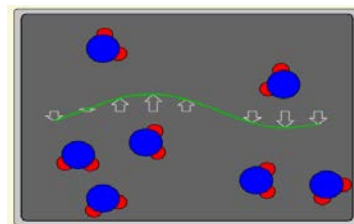


CALENTAR CON LUZ

Observa lo que pasa cuándo se concentra un rayo de luz sobre un papel, ¿por qué se quema el papel?, ¿qué lo calentó?, ¿qué pasa con las moléculas de papel?, ¿esta técnica se puede usar para calentar? Explica.

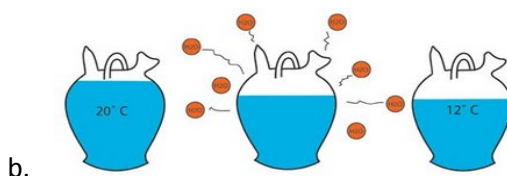
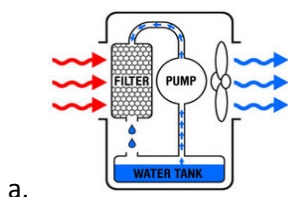
Observa el video <http://www.youtube.com/watch?v=uwwOSbcpcOg> Cómo calienta un microondas, ¿qué es más fácil de calentar en el microondas?, ¿por qué se calientan las moléculas?, ¿qué las calienta?,

Observa la simulación “micro-waves”, ¿qué pasa con las moléculas de agua al recibir radiación de microondas?, ¿en que se transforma la energía recibida?



C. ALGUNAS FORMAS DE ENFRIAR

Observa el video <http://www.youtube.com/watch?v=f30jS-i3hTY> ¿Por qué sudamos? ¿Para qué se produce el sudor?, ¿Por qué se evapora cuando sale a la piel?, ¿por qué sentimos fresco?, ¿qué tienen en común estas imágenes con el enfriamiento por evaporación?



Observa el video http://www.youtube.com/watch?v=eP9hq_yorKU, la forma más rápida de enfriar una cervecita, ¿cuáles fueron los métodos usados?, ¿Cuál fue el mejor?, ¿qué pasa con la temperatura del hielo al agregar sal?, ¿cómo se enfría el gas del extintor?, ¿por qué se forma hielo al expandir el gas?, ¿qué pasa con la energía de las moléculas de cerveza al contacto con un medio más frío?

F. Anexo: Unidad didáctica para momento 4

Guía 6. ¿Qué es entropía?

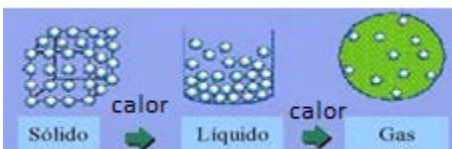
Objetivo: Construir el concepto de entropía desde el punto de vista cualitativo y el concepto de cambio de entropía a través de la comprensión del ciclo de Carnot

Estudiante: _____ curso _____ fecha: _____

A. LA ENTROPÍA Y EL CALOR

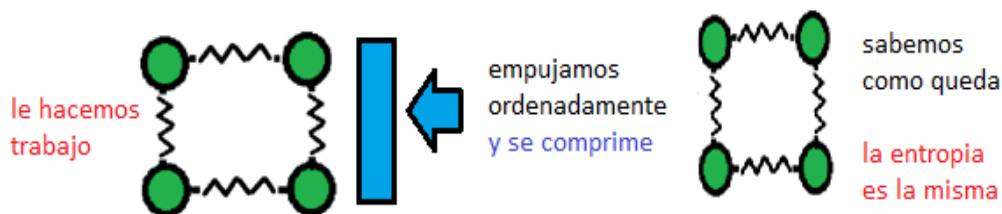
Cuando tengo un gas y se cuál es la presión del gas y cuál es su temperatura y el volumen que ocupa, hay muchas cosas que no sé a nivel microscópico. Por ejemplo no sé exactamente donde esta cada molécula y no sé tampoco que velocidad tiene, ni para donde se está moviendo, esa cantidad de información que me falta por saber es lo que se llama ENTROPÍA.

Por ejemplo al observar los dibujos de los estados de la materia, ¿en cuál de los tres estados tengo más información de dónde están las moléculas?

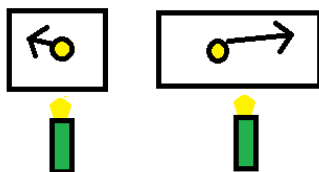


Por otro lado es interesante darse cuenta de que si le damos calor al sólido, se vuelve líquido; pero si le damos trabajo no, ¿por qué hacer trabajo sobre el sólido no hace que cambie de estado?, ¿por qué calentarlos si resulta en un cambio de estado?, ¿por qué darle calor a una sustancia aumenta su entropía?





La entropía de un gas o de cualquier cosa se puede aumentar de dos maneras: o se le mete entropía haciéndole calor o se le crea entropía haciendo un cambio que disminuya lo que sabemos del sistema. Por ejemplo si en una caja tenemos una sola molécula y la calentamos con una vela.



¿Cómo se mueve la molécula antes y después de lograr expandir la caja?, ¿cuándo es más fácil saber dónde está la molécula?, ¿Cómo metimos entropía a la molécula?, en general sabemos que aumentar el volumen y al hacer que las moléculas se muevan más rápido se CREA ENTROPÍA. Para cada caso determina de qué manera se crea entropía.

Crea entropía	Aumenta volumen	Aumenta velocidad
Martillando		
Frotando		
Con corriente		
Reacciones químicas		
calentando		

También debes saber que si tengo más moléculas tengo más entropía. Imagina un gas constituido por dos moléculas ocupando un volumen inicial V_1 , si el volumen se duplica, ¿de cuantas formas se pueden ordenar las moléculas?, ¿de cuantas formas se pueden distribuir las moléculas si el volumen se triplica?, ¿cuándo es más fácil saber dónde están las moléculas?, ¿cuándo se menos dónde están las moléculas?, ¿por qué aumenta la entropía del gas?

Doble del volumen = 4 posibilidades	Triple del volumen = ?

En cuanto a la energía del gas sabemos qué depende de la velocidad media al cuadrado v^2 pero no sabemos la velocidad de cada molécula, es más para una sola molécula, no sabemos cuánto es su velocidad en cada dimensión del espacio, es decir desconocemos sus velocidades v_x , v_y , v_z .

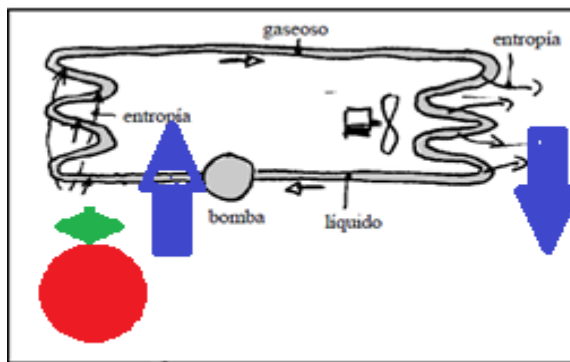
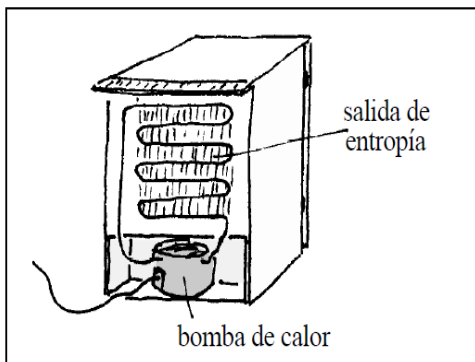
Velocidad = promedio $\sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$

Por ejemplo sabemos que la velocidad media de la moléculas es raíz de 14, es decir esta velocidad al cuadrado es 14, ¿para qué valores de las velocidades de la molécula se cumple que $v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 = 14$?

v_x^2	v_y^2	v_z^2	$v_{promedio}^2$
			14

Disminuir la entropía solo se puede hacer sacándola de un lugar a otro, porque la entropía no se puede destruir solo se puede crear. Por ejemplo en la nevera se puede ver un tubo con muchas curvas en la parte de atrás, allí ponemos a secar la camiseta cuando la necesitamos con urgencia; este tubo va hasta el interior del refrigerador de dónde saca entropía.

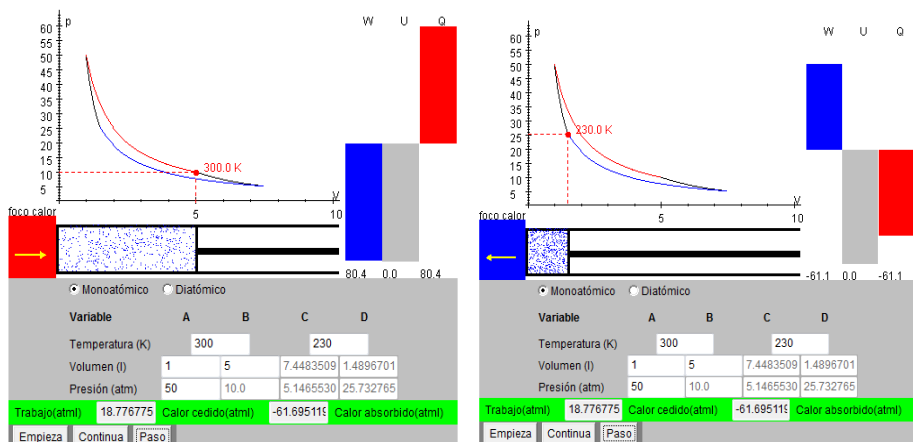
Por este tubo circula una sustancia que al absorber una cantidad de entropía se vuelve gas y cuando deja salir esta misma cantidad de entropía hacia al ambiente se vuelve líquida. Esta sustancia es impulsada por un pequeño motor que hace trabajo sobre ella para que la entropía que transporta fluya del interior al exterior de la nevera como se ve en las imágenes.



En la nevera ¿de dónde se saca entropía?, ¿la entropía que sale a donde se va?, ¿quién transporta la entropía?, ¿qué pasa con el gas cuando absorbe entropía?, ¿qué le ocurre cuando pierde entropía?

B. EL CICLO DE CARNOT

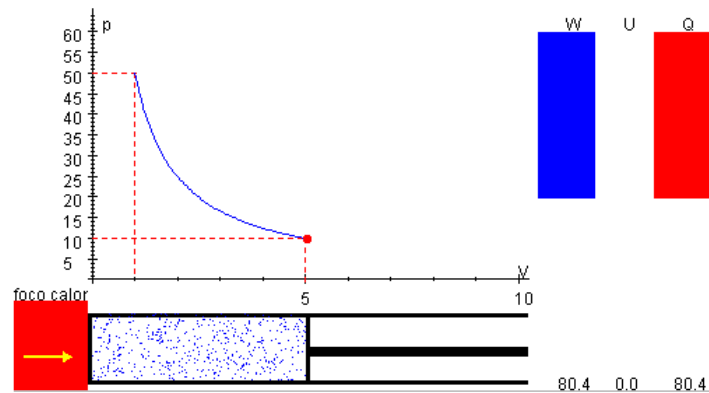
Observa la simulación <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/carnot/carnot.htm> ¿de qué procesos termodinámicos está compuesto el ciclo?, ¿por qué se expande el gas?, ¿cuándo se comprime?, ¿está sometido todo el tiempo a una fuente de calor?, ¿el gas hace trabajo?, ¿se hace trabajo sobre él?, ¿por qué sabemos que se calienta o qué se enfría?



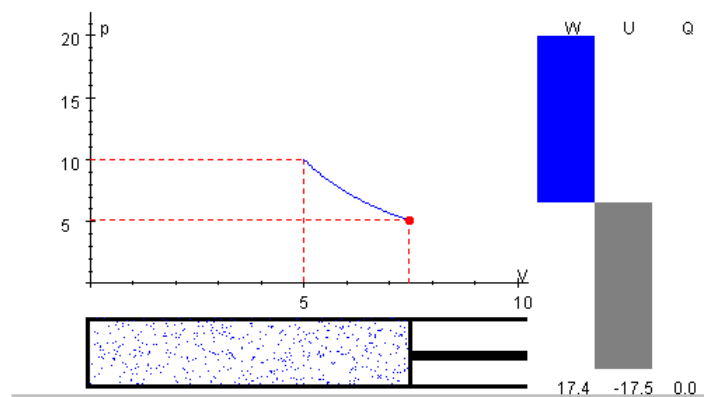
En el ciclo de Carnot hay dos ciclos: el de la energía y el de la entropía, para analizarlos toma un dibujo del ciclo de Carnot sobre una hoja milimetrada, determina las áreas bajo la curva de cada proceso contando cuadros.

El ciclo de la energía

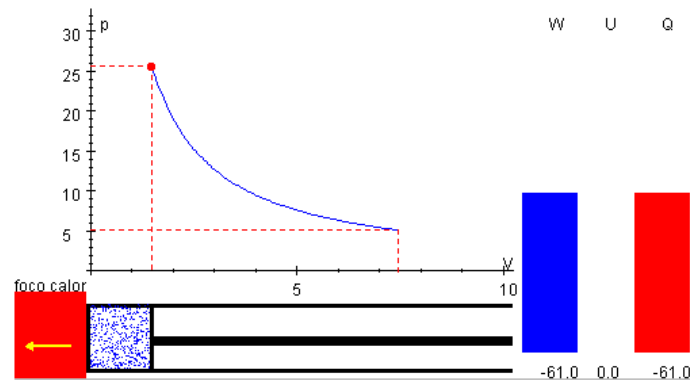
Paso 1 expansión isotérmica: Un gas está comprimido y lo pongo en medio de agua caliente a temperatura constante, ¿qué le pasa al gas, se va a expandir o se va a comprimir?, ¿mientras se expandía a temperatura constante qué trabajo hizo el gas?, ¿todo ese tiempo el gas estuvo a temperatura constante ¿cambio la energía del gas?, ¿de dónde vino la energía que salió cómo trabajo?, ¿cuánto calor le entro?



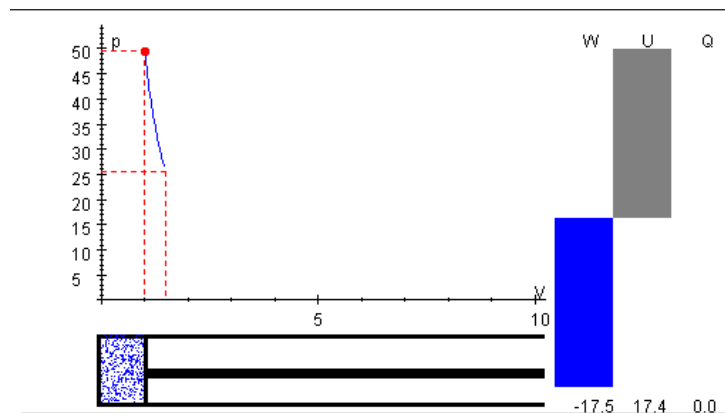
Paso 2 expansión adiabática: Al gas que se estaba expandiendo debido a que lo calentamos, le quitamos la fuente de calor, ¿el gas se sigue expandiendo o se mantiene en el mismo volumen?, ¿mientras se expande que pasa con su temperatura?, ¿qué pasaba con su energía?; durante este tiempo que el gas no recibió calor de una fuente entonces ¿hizo trabajo?, ¿su energía interna aumento o disminuyó?, ¿de dónde vino la energía que salió como trabajo?, ¿le entro o le salió calor?



Paso 3 compresión isotérmica: El gas ya expandido al máximo se sumerge en agua con hielo a temperatura constante, ¿qué le pasa al gas, se expande o se comprime?, ¿mientras se comprime a temperatura constante qué trabajo se le hizo al gas?; si todo ese tiempo el gas estuvo a la misma temperatura ¿cambio la energía del gas?, ¿de dónde vino la energía que entro como trabajo?, ¿cuánto calor le salió?



Paso 4 compresión adiabática: Al gas que estábamos comprimiendo debido a que lo enfriamos, le quitamos la fuente de frío, ¿el gas se sigue comprimiendo?, ¿mientras se comprime que pasa con su temperatura?, ¿qué pasa con su energía interna?; durante este tiempo no se enfrió el gas, entonces, ¿hizo trabajo?, ¿su energía interna aumento o disminuyó?, ¿de dónde vino la energía que salió cómo trabajo?, ¿le entro o le salió calor?

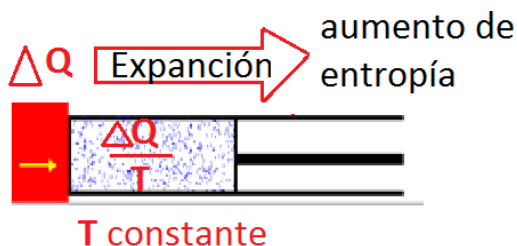


¿Cuánto trabajo hizo en el primer paso?, ¿y en el segundo?, ¿cuánto trabajo le hicieron en el paso tres?, ¿y cuanto en el último paso?; fíjate que el trabajo que hizo en la etapa 2 es igual al trabajo que le hicieron en la etapa 4, entonces, ¿qué es más grande el trabajo que hizo al expandirse o el que se le hizo para comprimirlo?, conclusión la maquina hace trabajo; La resta entre el calor que entra en la temperatura alta y el calor que sale a la temperatura baja es igual al trabajo que hace la maquina, ¿cuánto trabajo hizo?, ¿en qué se transforma en cada paso la energía?

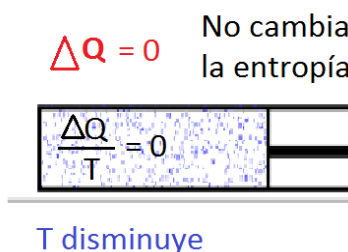
El ciclo de la entropía

Recuerda que aumentar la desinformación sobre donde está y cuanto velocidad tienen las moléculas de un gas, se puede lograr calentándolo. En el ciclo de Carnot, ¿cuándo le aumenta la desinformación al gas?, ¿cuándo se disminuye la desinformación?, estos cambios en la desinformación muestran como cambia la entropía del gas a lo largo del ciclo.

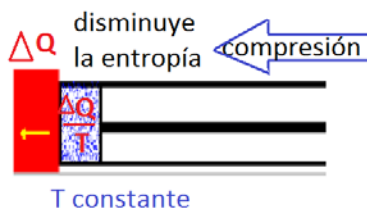
Paso 1 expansión isotérmica: ¿cómo se calienta el gas?, ¿qué pasa con la temperatura? Cuando el gas está a una temperatura constante T le entra una cantidad de calor ΔQ , que le aumenta la entropía en $\frac{\Delta Q}{T}$



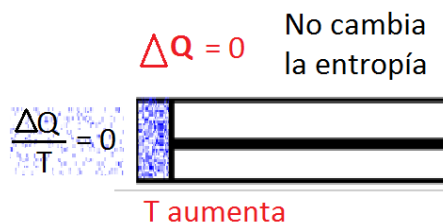
Paso 2 expansión adiabática: ¿entra calor al gas?, ¿cómo cambia la temperatura?, si no se le hace calor la desinformación sobre las moléculas no aumenta ni disminuye. ¿Cuánto es la variación en su entropía?



Paso 3 compresión isotérmica: ¿cómo se enfría el gas?, ¿cómo es la temperatura? Cuando el gas está a una temperatura constante T le sale una cantidad de calor ΔQ , su entropía disminuye en $\frac{\Delta Q}{T}$



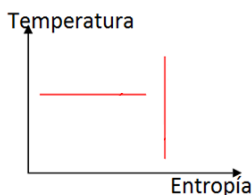
Paso 3 compresión adiabática: ¿sale calor al gas?, ¿cambia la temperatura?, si no se le hace calor la desinformación sobre las moléculas no aumenta ni disminuye. ¿Cuánto es la variación en su entropía?



Para el ciclo de Carnot, ¿cuánta entropía entra en el paso 1 y cuánta sale en el paso 3?, ¿por qué en los pasos 2 y 4 no se producen cambios de entropía?, ¿por qué el cambio o variación de entropía durante todo el ciclo de Carnot es cero?

cambio en la entropía = entropía que sale – entropía que entra

$$\frac{\Delta Q}{T} - \frac{\Delta Q}{T} = 0$$



El cambio de entropía que sufre el gas durante el ciclo de Carnot se puede representar en una grafica de temperatura en función de entropía. Recuerda que el ciclo se compone de cuatro procesos, ¿en cuales la temperatura es constante?, ¿en cuales no hay flujo de calor?.

En una grafica de Temperatura vs entropía ¿cómo representarías una temperatura constante?, ¿cuál será la curva para un proceso donde no fluye calor?, ¿cómo queda el ciclo?

C. CÓMO MEDIR LA VARIACIÓN DE ENTROPÍA

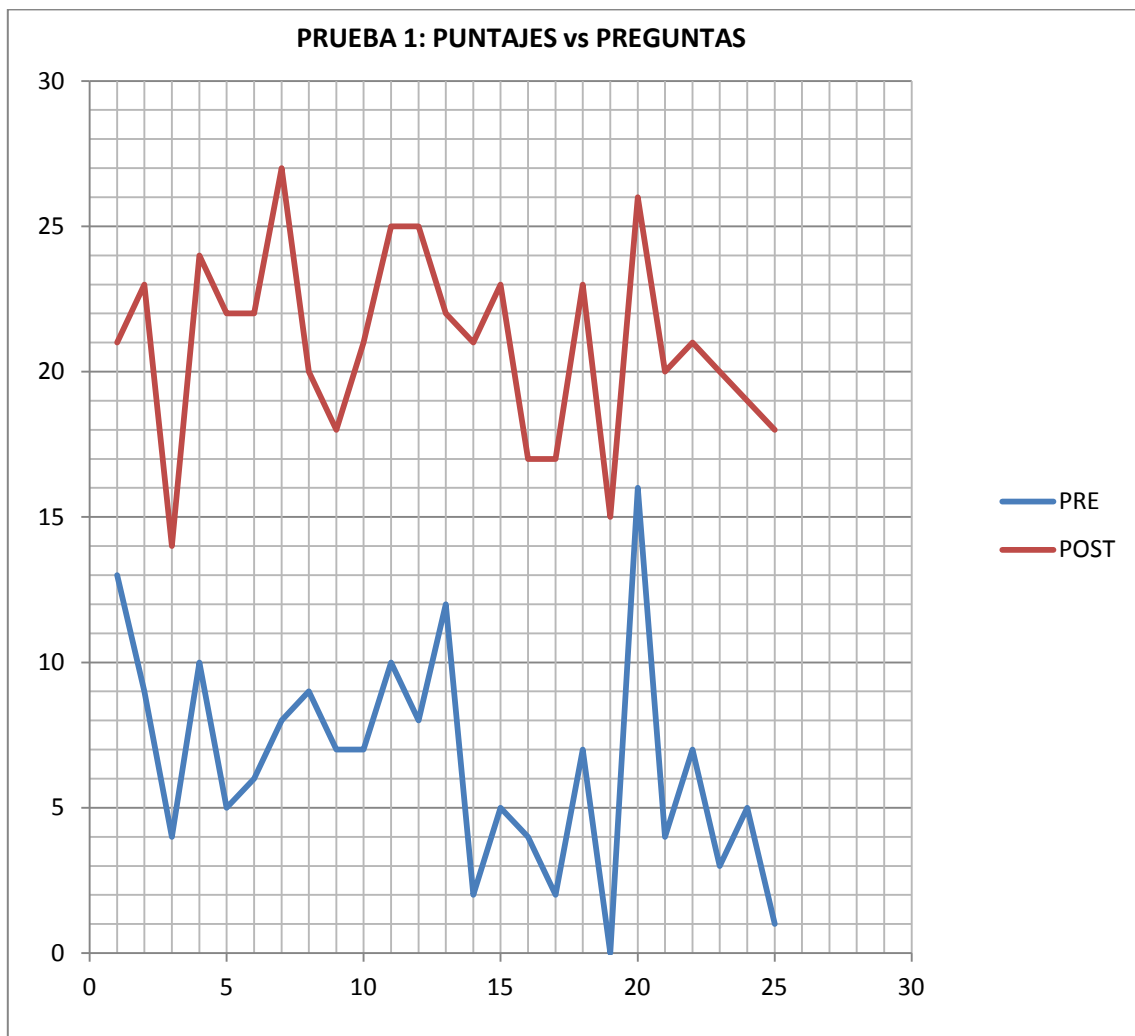
Una forma experimental de saber cuánta entropía puede transferir un cuerpo caliente a uno frio es medir la cantidad de hielo que este logra derretir dada una diferencia de temperatura y en un tiempo establecido. Para ello necesitamos construir un calorímetro usando los siguientes materiales; Un vaso de icopor con tapa, un vaso de icopor más grande que el anterior y con tapa, cubos de Hielo, arandelas o trozos de metal, silicona, bisturí, termómetro, beaker, agua, mechero. Cuando tengas todo listo pon a calentar el agua en el beaker e introduce las arandelas deja hervir durante 10 minutos, mientras esto se calienta toma las tapas de icopor y hazle una perforación para que al colocar el termómetro allí quede ajustado, luego toma cada vaso de plástico hazle un pequeño agujero en la base, introduce el vaso pequeño dentro del grande y ajústalo con silicona para que quede centrado, ahora introduce el hielo dentro del vaso pequeño asegurándote de que no haya goteos. Ahora retira el beaker del fuego y saca una de las arandelas, rápidamente ponla dentro del vaso con hielo y ajusta las tapas verificando que el bulbo del termómetro haga contacto con el hielo únicamente. Inmediatamente registra la temperatura y el tiempo que tarda en caer la primera gota, sigue registrando durante 1 minuto los valores en una tabla de datos. Repite el procedimiento con el doble de arandelas (duplicando la masa).



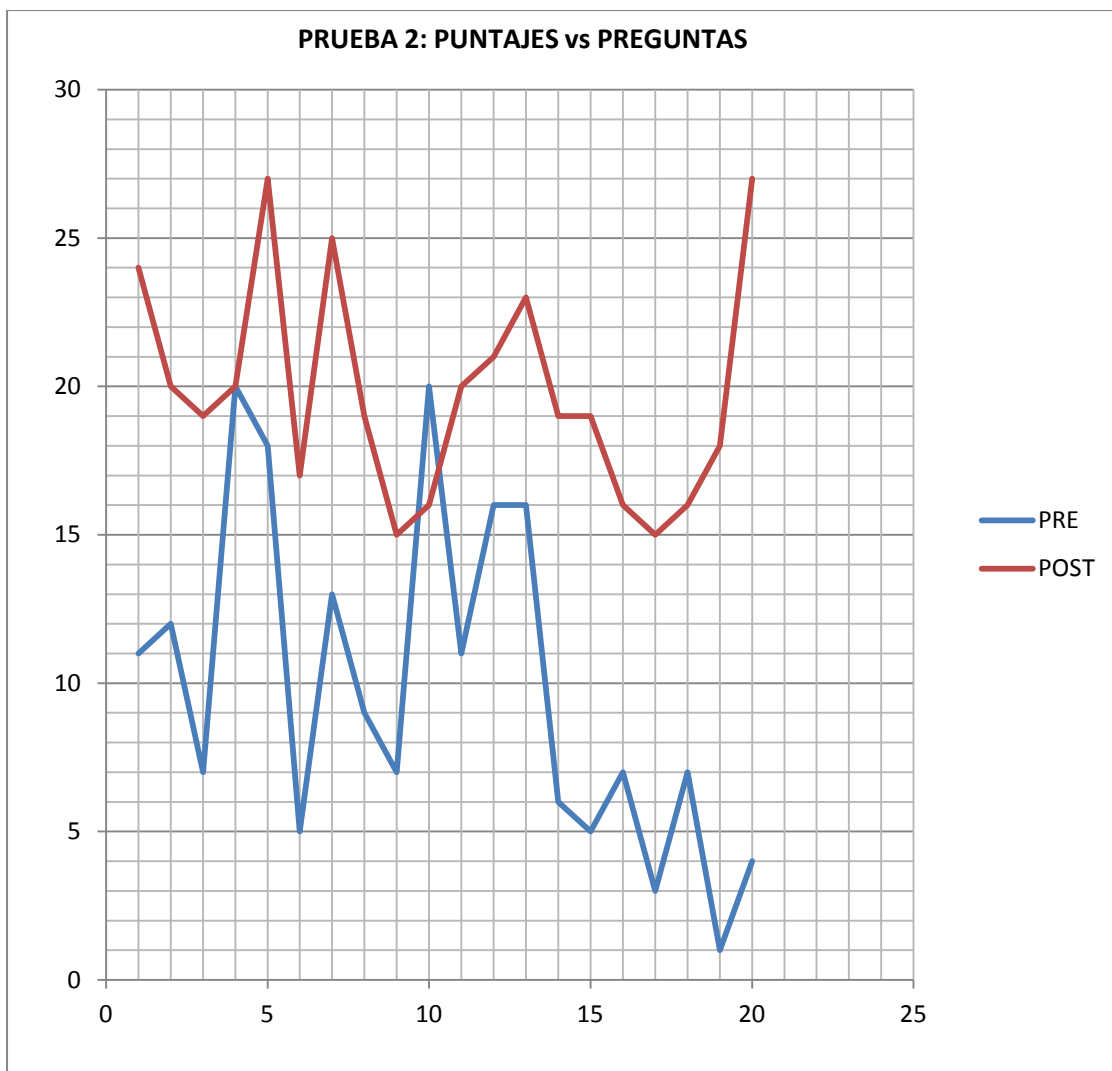
Material:		
tiempo	temperatura	gotas

De acuerdo con lo observado en el experimento del calorímetro, ¿qué pasa con la cantidad de gotas si se aumenta la masa del mismo metal?, ¿quién pierde entropía?, ¿quién la recibe?, ¿qué pasa con la variación de entropía al aumentar la masa del metal?, ¿cuándo dejan de salir gotas?, ¿qué pasa con la entropía si dejan de salir gotas?

G. Anexo: Puntajes prueba 1



H. Anexo: Puntajes prueba 2



Bibliografía

1. UNA REVISIÓN HISTÓRICA DEL CONCEPTO DE CALOR: algunas implicaciones para su aprendizaje, Tecné, Episteme y Didaxis N.º 23, 2008 <http://www.pedagogica.edu.co/revistas/ojs/index.php/TED/article/viewFile/149/94>
2. COMENCEMOS CON LA ENTROPÍA, F. Herrmann, *Rev. Cub. Fís. vol. 27, No.2A, 2010, p.113-118.* <http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de>
3. ENTROPY, A RESURRECTION OF CALORIC-A LOOK AT THE HISTORY OF THERMODYNAMICS, G Falk, Eur. J. Phys. 6 (1985) pg, 108-115, <https://docs.google.com>
4. ON THE CALORIC THEORY OF HEAT, The Caloric Theory of Heat and Carnot's Principle, H. L. CALLENDAR http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/publication/historische_Arbeiten/Callendar_1911.pdf
5. JOB GEORG. Nueva representación de la termodinámica: La entropía como calor, Traducción: Octavio Guzmán B. & Aminta Mendoza B. Instituto Interdisciplinario de las Ciencias, Universidad del Quindío, Colombia. <http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de>
6. DE ZUBIRÍA SAMPER JULIÁN. Los modelos pedagógicos: hacia una pedagogía dialogante/. 2ª edición, Bogotá, Colombia: cooperativa editorial magisterio, 2006
7. CONCEPTS OF MODERN PHYSICS, research scientist, Columbia University. Arthur Beiser. United States of America: McGraw-Hill Book Company, Inc, 1963
8. ARISTÓTELES, Acerca de la generación y la corrupción. Tratados breves de historia natural. Libro 2. Madrid: Editorial Gredos 1987.
9. HEWITT, PAUL G. Física conceptual. México: Addison Wesley Longman, 1999
10. RESNICK/ HOLLIDAY/ KRANE. Física vol 1. Cuarta edición. México: Compañía editorial continental, S.a. de C. V. México, 1996
11. SERWAY A. RAYMOND. Física tomo 1. Cuarta edición. México D. F.: McGraw-Hill interamericana editores, S.A. de C.V.
12. VALERO, Michel. Física Fundamental 1. Bogotá: Editorial Norma, 1983.

ⁱ Simulación de la universidad de colorado PEHT